Dr J. PELLETAN

MANUEL D'HISTOLOGIE NORMALE

Ouvrage orné de 200 gravures

PARIS
LIBRAIRIE H. LAUWEREYNS
2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

1878



MANUEL

D'HISTOLOGIE

NORMALE

Bruxelles. — Imp. Parent et Cie.

Dr J. PELLETAN

MANUEL D'HISTOLOGIE NORMALE

Ouvrage orné de 200 gravures



PARIS
LIBRAIRIE H. LAUWEREYNS
2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

1878

PRÉFACE

Notre but en publiant ce livre a été de présenter un tableau clair, précis, mais complet de l'*histologie*, telle qu'elle est constituée par les plus récents travaux. Le lecteur trouvera donc dans ce *Manuel* un exposé des faits débarrassé des discussions, polémiques, revendications qui encombrent la plupart des traités considérés jusqu'à ce jour comme classiques.

En dehors de nos vues personnelles sur certains sujets, nous avons pris principalement pour guide, dans ce travail, celui des histologistes français qui, par l'étendue de ses recherches, la perfection de ses méthodes, la rigueur de ses déductions, a fait faire, dans ces dernières années, à cette science délicate, les plus grands et les plus sûrs progrès ; nous avons nommé le savant professeur du Collége de France, M. Ranvier.

Pour rendre plus facilement intelligible notre exposé des faits, nous l'avons accompagné d'un grand nombre de figures, le plus souvent schématiques, pour la reproduction desquelles nous avons renoncé à tout luxe de dessin, cherchant surtout à les rendre claires, afin qu'elles soient une explication plus frappante du texte.

Enfin, pensant que l'étude sur les préparations mêmes est, de toutes, la plus fructueuse, nous avons résumé à la

suite de chaque chapitre quelques-unes des meilleures méthodes qui permettront aux lecteurs de faire facilement eux-mêmes les principales préparations. Le cadre de cet ouvrage nous interdisait de nous étendre outre mesure sur cette partie de notre sujet, et particulièrement d'entrer dans les considérations historiques et critiques que peut susciter chaque méthode. Nous avons choisi, dans l'arsenal de la Technique microscopique, les procédés qui nous ont paru donner les résultats les plus démonstratifs, pensant, d'ailleurs, qu'il est plus utile de présenter un petit nombre de méthodes sûres, (les plus sûres, du moins, que l'on connaisse aujourd'hui), que d'expliquer une infinité d'opérations dont certaines ont pu, à leur moment, rendre des services, mais qui n'ont plus désormais qu'une valeur secondaire (1).

En adoptant ce cadre pratique et simplifié, nous avons eu pour but de faciliter aux étudiants, aux médecins, aux naturalistes, l'étude de l'histologie, dont la place devient chaque jour plus importante dans les sciences biologiques. En un mot, nous avons espéré faire de ce modeste ouvrage un livre utile, et nous serions profondément heureux d'avoir réussi.

Dr J. Pelletan.

(1) Pour toutes ces questions, nous renvoyons aux ouvrages classiques, particulièrement au *Traité technique d'Histologie* et aux *Leçons sur l'histologie du système nerveux* du professeur Ranvier.

MANUEL D'HISTOLOGIE



NOTIONS PRÉLIMINAIRES

I

LE MICROSCOPE

Les recherches histologiques exigent l'emploi du microscope, et les bons modèles de cet instrument sont aujourd'hui assez nombreux pour que nous croyions devoir en décrire quelques-uns, afin de guider dans leur choix ceux de nos lecteurs qui voudraient se livrer à des travaux pratiques.

En général, nous ne saurions trop leur recommander de préférer toujours les instruments les plus parfaits, car s'il est vrai qu'on peut faire de bonnes observations avec un microscope défectueux, il faut reconnaître que cela n'est guère possible qu'aux observateurs les plus exercés au maniement de l'instrument et les plus familiarisés avec ses ressources.

Il est certain, d'autre part, que les progrès de l'histologie sont intimement liés non-seulement au perfectionnement des méthodes, mais encore aux progrès que réalise chaque jour la construction des instruments d'optique.

Les bons modèles de microscope sont ordinairement d'un prix assez élevé, mais on peut néanmoins en faire l'acquisition sans trop grande dépense en restreignant d'abord le nombre des pièces que l'on achète, par exemple des objectifs, qui en constituent précisément la partie la plus dispendieuse, quitte à compléter la collection plus tard, au fur et à mesure des besoins.

Il y a, en effet, à considérer, dans le microscope, deux parties distinctes, le *corps du microscope*, ou *support*, le *stand*,

comme disent les Anglais, c'est-à-dire la partie mécanique, et les *objectifs* qui, avec les *oculaires*, constituent la partie optique.

Tout microscope se compose d'un support, à pied lourd, pour lui donner de la stabilité, lequel porte une tablette percée d'un trou à son centre, la *platine*, et un tube à l'extrémité supérieure duquel se place l'oculaire et à l'extrémité inférieure, l'objectif. Ce tube peut s'élever ou s'abaisser au-dessus de la platine qui

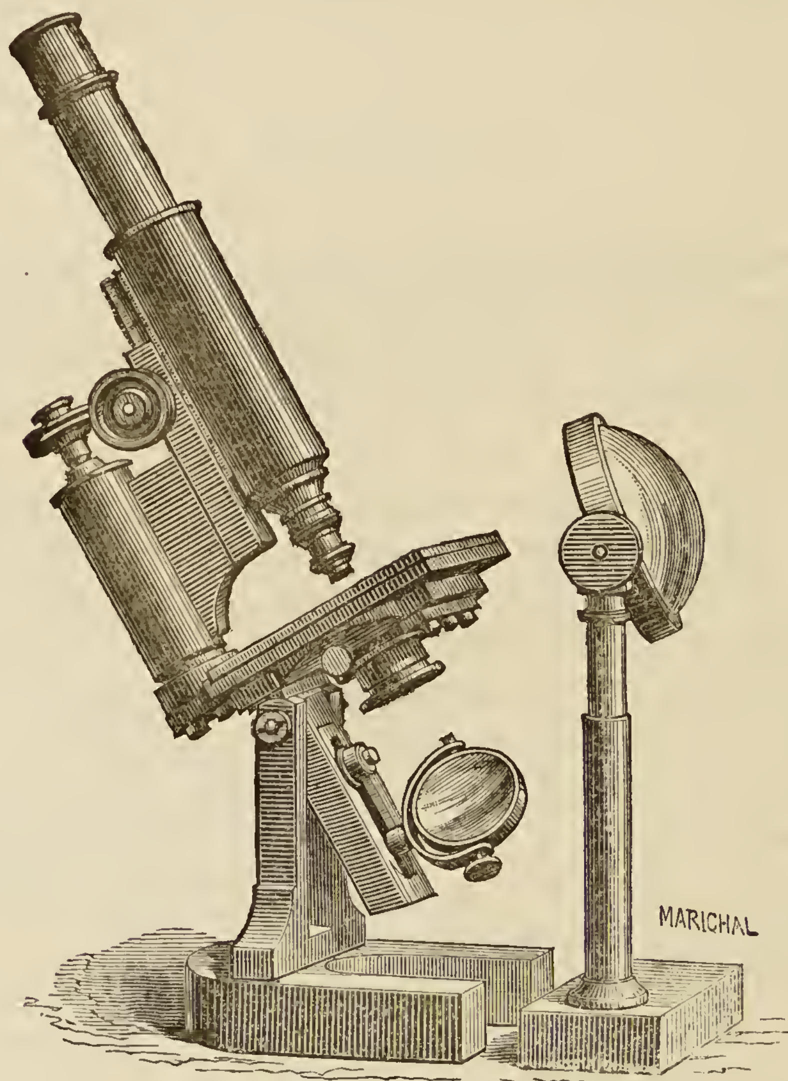


Fig. 1.— Microscope grand modèle (VII) de Hartnack et Prazmowski.

supporte l'objet à examiner, soit en glissant à la main dans un coulant, soit à l'aide d'une crémaillère et d'un pignon, ce qu'on appelle le *mouvement rapide*, puis à l'aide d'une vis micrométrique qui forme le *mouvement lent*, et sert à faire la *mise au*

point avec plus de précision. Au-dessous de la platine sont placés différents systèmes de *diaphragmes* et un *miroir*, plan d'un côté, concave de l'autre, pour éclairer l'objet retenu sur la platine par deux lames métalliques faisant fonction de *pinces* ou de *valets*.

L'axe qui porte la platine et le tube peut être fixe dans la verticale, et l'on dit alors que le microscope est *droit*, ou bien il peut s'incliner avec les pièces qu'il supporte de manière à prendre toutes les positions entre la verticale et l'horizontale, on dit alors que le microscope est *inclinant*.

Après ces détails que nous donnons très-brièvement parce qu'ils sont aujourd'hui connus de tout le monde, abordons la description sommaire des modèles que nous croyons devoir recommander plus spécialement.

La maison Hartnack et Prazmowski construit les meilleurs microscopes du continent. Le grand modèle (nº VII) est un magnifique instrument (*fig.* 1) dont le moyen modèle (nº VIIA) reproduit, sous une taille un peu moindre, tous les avantages (*fig.* 2).

Sur un pied lourd en fer à cheval s'élèvent deux pilastres supportant l'axe autour duquel s'incline le corps de l'instrument. Le mouvement rapide s'opère par une crémaillère et un pignon commandé par un double bouton moletté. Le mouvement lent est produit par une vis micrométrique mue par un bouton placé au-dessus de la colonne qui porte l'instrument. La tige sur laquelle monte et descend le corps de microscope a la forme d'un prisme triangulaire, ce qui préserve celui-ci des déplacements dans le sens latéral. Le tube est formé de deux parties dont l'une rentre dans l'autre, à *tirage*, ce qui permet d'en diminuer ou d'en augmenter la hauteur à volonté. La platine est à rotation, c'est-à-dire qu'elle peut tourner dans son plan avec le corps de l'instrument tandis que le pied et le miroir restent fixes, ce qui permet d'examiner l'objet en l'éclairant successivement de tous les côtés. La surface de la platine est garnie d'une plaque de glace dépolie, inattaquable aux réactifs. La face inférieure porte une sorte de tiroir soutenant, à frottement dur, un tube vertical sur lequel on place des capsules percées de trous de différents diamètres, formant diaphragmes,

et qui s'engagent dans l'ouverture centrale de la platine. C'est dans ce tube qu'on peut placer divers appareils spéciaux condensateurs, prisme polariseur, etc. Enfin, le miroir est porté par un bras sur lequel il peut s'élever ou s'abaisser, ou s'écarter latéralement pour donner l'éclairage central ou oblique.

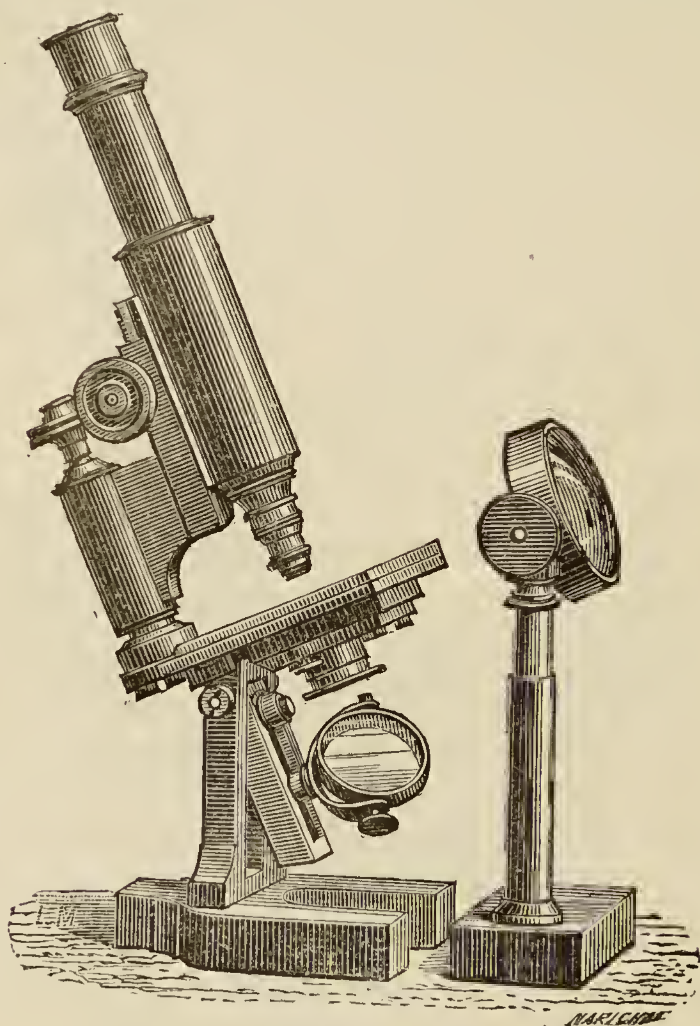


Fig. 2. — Microscope moyen modèle (N° VII A) d'Hartnack et Prazmowski.

Le moyen modèle (n° VIIA) de MM. Hartnack et Prazmowski est le meilleur que nous puissions recommander. A côté, mais un peu plus petit, est le modèle n° VIII qui présente les mêmes dispositions générales, sauf qu'il est porté, non plus sur deux pilastres, mais sur une seule colonne et que la platine n'est pas à rotation (*fig.* 3). La loupe qui sert à éclairer par-dessus les corps opaques qu'on ne peut éclairer à l'aide du miroir, au lieu d'être

portée sur un pied lourd séparé, comme dans les modèles précédents, s'adapte au corps même de l'instrument.

On trouve encore chez les mêmes constructeurs d'autres modèles plus petits, parmi lesquels nous citerons le modèle n° 3A, qui sont exécutés avec le plus grand soin. Ces instruments peuvent être munis ou non d'une crémaillère pour le mouvement rapide, munis ou non d'une charnière pour l'inclinaison du corps.

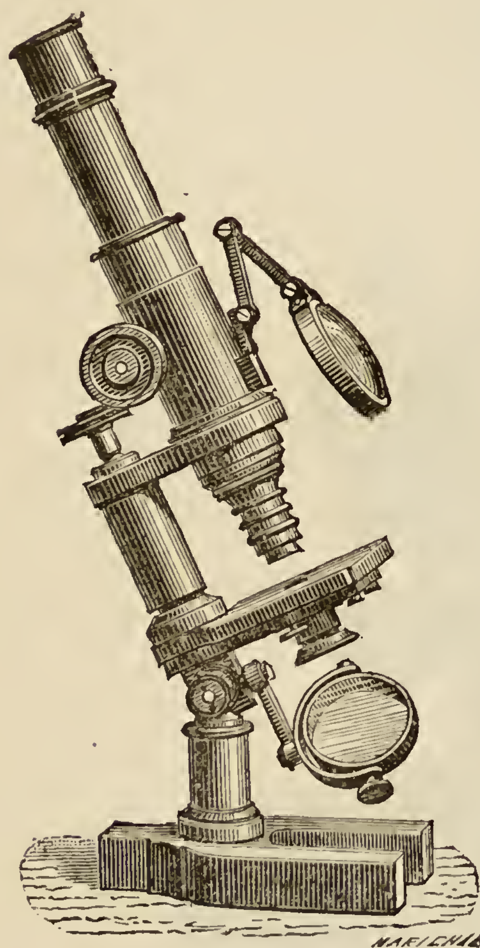


Fig. 3. — Microscope petit modèle (N° VIII) d'Hartnack et Prazmowski.

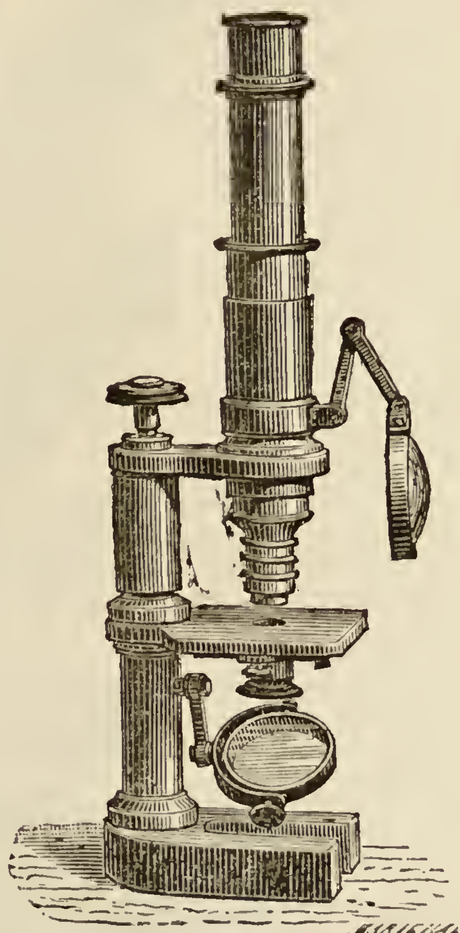


Fig. 4. — Microscope petit modèle (N° 3 A) d'Hartnack et Prazmowski.

La maison Nachet et fils construit un grand nombre de modèles dont plusieurs sont très-recommandables. Ils sont établis, d'ailleurs, sur des principes analogues à ceux que nous avons décrits ci-dessus. Toutefois, le mouvement lent ne s'opère pas sur un prisme, mais sur une colonne cylindrique, et le tube du microscope peut toujours s'élever ou s'abaisser, à la main,

pour le mouvement rapide en glissant dans un coulant. Le tube porte-diaphragme, au lieu d'être mû par un tiroir à coulisses sous la platine, est porté à l'extrémité d'un levier que l'on peut écarter latéralement ou ramener au centre de la platine, sui-

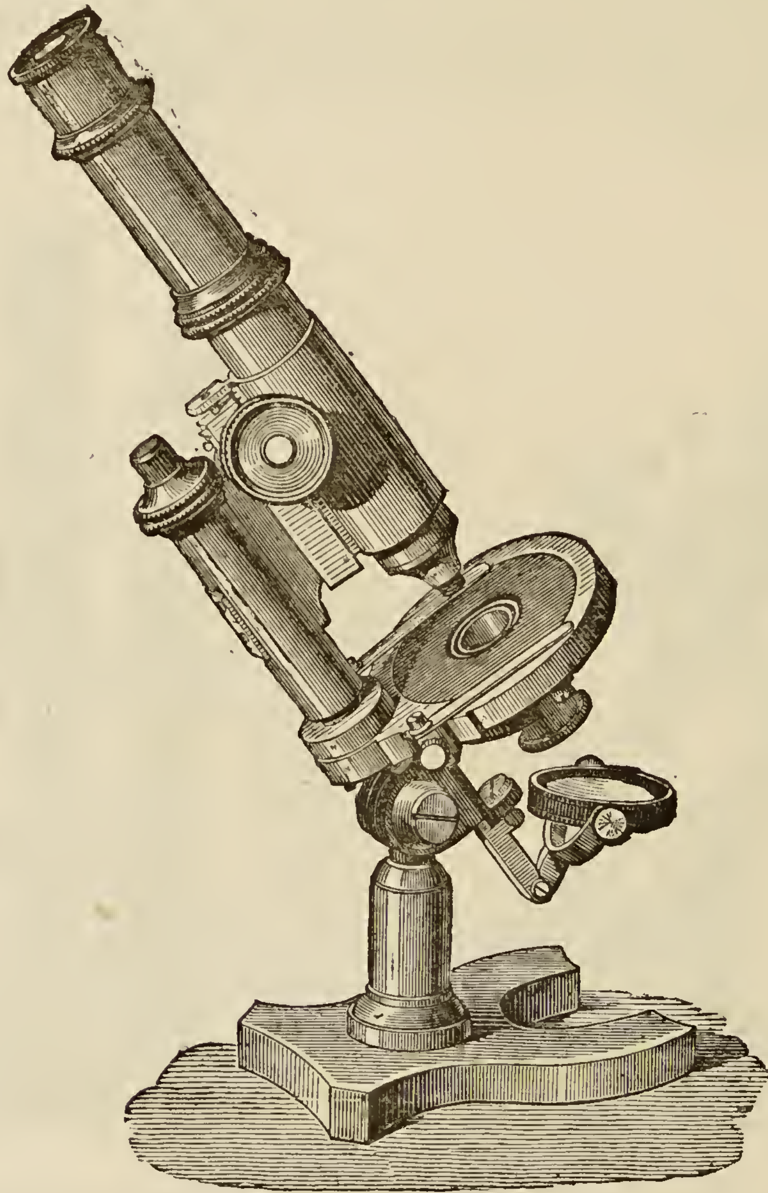


Fig. 5. — Microscope N° 5 de Nachet.

vant les besoins de l'éclairage. Nous citerons particulièrement les modèles n° 2 et le petit modèle n° 5 (*fig*. 5) qui est très-employé et fort commode.

M. Ch. Vérick construit aussi des microscopes de premier ordre, qui se rapprochent beaucoup par la forme et les disposi-

tions de ceux de MM. Hartnack et Prazmowski. Le mouvement lent est monté à prisme, le tube porte-diaphragme adapté sur un tiroir à coulisses, et le miroir est doué, comme dans les modèles de M. Nachet, d'un mouvement en avant, en outre des mouvements de latéralité. Comme dans les modèles de M. Nachet, encore, le tube de l'instrument est toujours mobile à la main dans son coulant, et, dans les grands modèles, muni d'une cré-

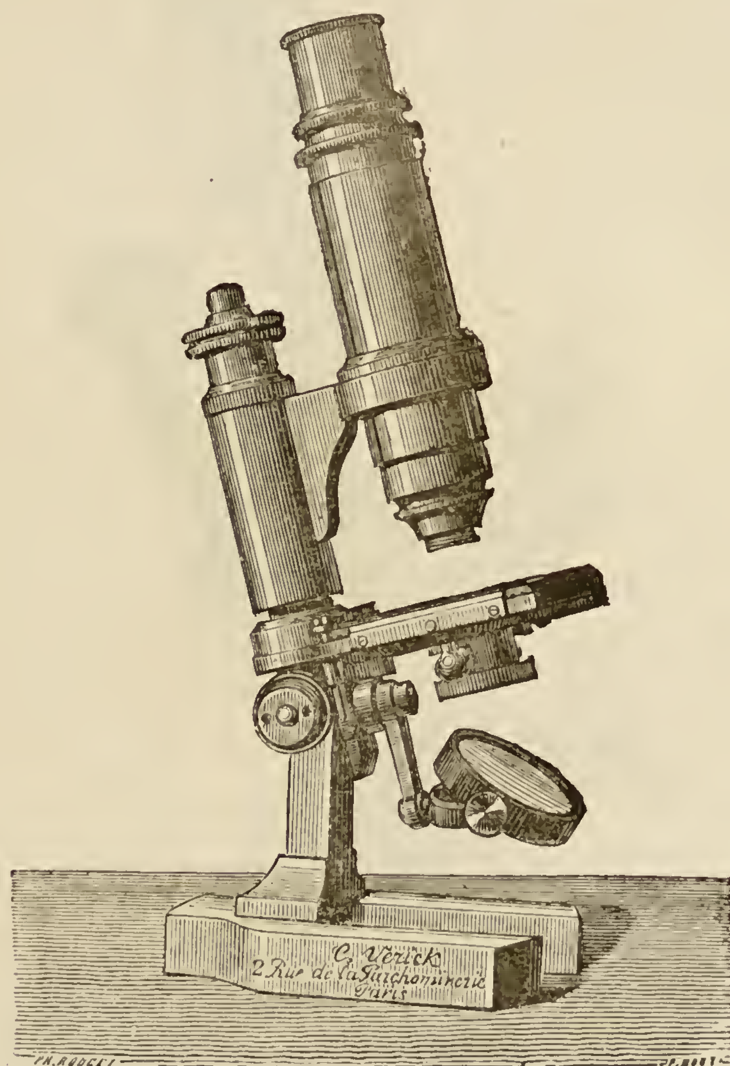


Fig. 6. — Microscope petit modèle (N° 4) de Vérick.

maillère. Les modèles n° 2 (*fig.* 10), n° 3, et enfin le n° 4 (*fig.* 6), qui ne diffère des précédents que par la platine, laquelle n'est pas à rotation, sont de forts bons instruments, d'un long usage et d'un excellent mécanisme.

Enfin, l'ancienne maison de Ch. Chevalier, l'inventeur de la

lentille achromatique pour le microscope, construit aussi, sur des modèles qui ont la plus grande analogie avec ceux de

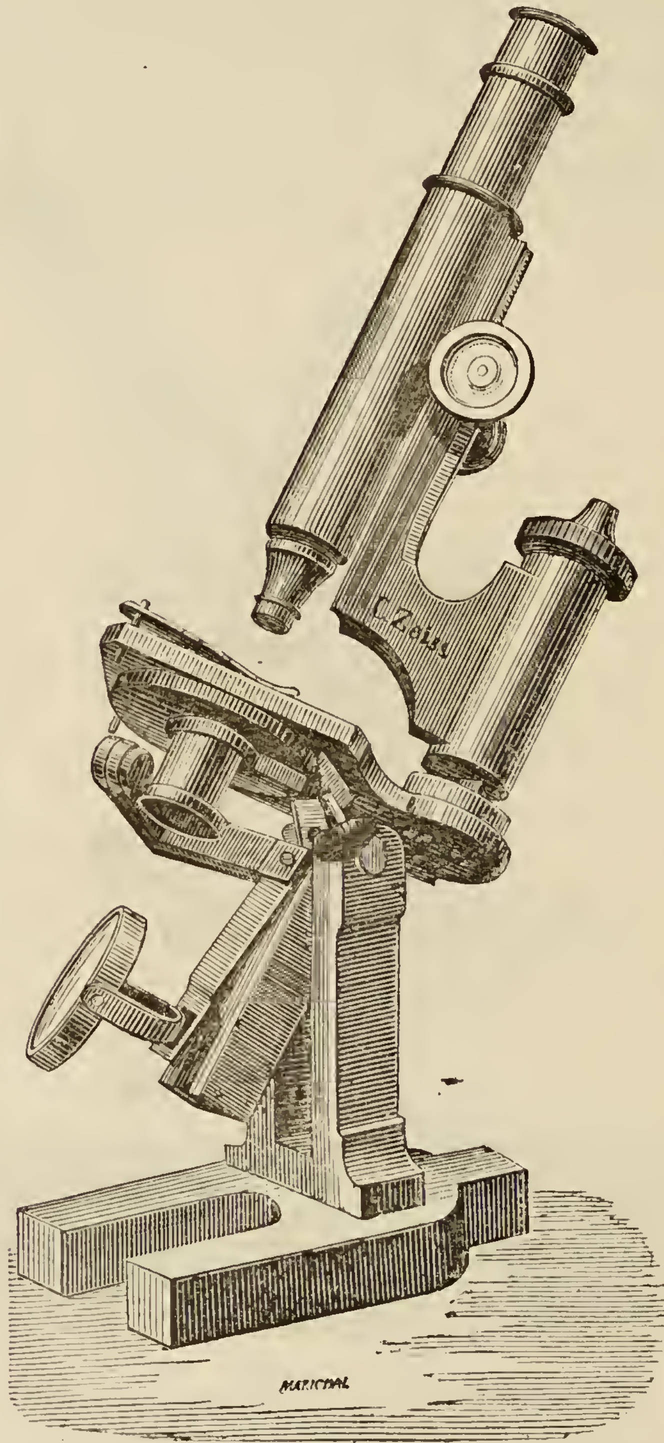


Fig. 7. — Microscope moyen modèle (N° 1*b*) de Zeiss.

M. Nachet, des corps de microscope qui méritent leur réputation.

On trouve, en Allemagne, des microscopes qui ressemblent beaucoup à ceux que nous avons décrits, et parmi lesquels

nous devons citer d'une manière toute spéciale ceux de M. C. Zeiss, à Iéna. Les modèles de cet excellent constructeur sont nombreux et également recommandables. Les types supérieurs ont la platine tournante, le diaphragme à tube porté par un tiroir ou par une crémaillère spéciale qui permet d'en établir le centrage exact; le miroir est monté sur un bras qui se développe dans tous les sens; le mouvement rapide est construit à crémaillère et à pignon, sans coulant, comme dans les modèles supérieurs d'Hartnack et Prazmowski ; et, comme dans ceux-ci, le mouvement lent est monté sur un prisme. Les grands modèles, n° 0 et n° 1*b*, (*fig*. 7) particulièrement, sont des instruments de premier ordre.

Pour être complets, nous devrions citer les microscopes anglais, dont les grands modèles sont de splendides instruments, d'un prix, malheureusement, toujours très-élevé, comparativement à celui des microscopes français ou allemands.

Ces instruments, dont le tube est beaucoup plus haut que celui des nôtres, sont toujours à inclinaison; la platine, tournante dans les types supérieurs, se meut seule concentriquement sous l'objectif, et n'entraîne pas avec elle le corps du microscope, ce qui fait que l'objet sort continuellement du champ et qu'il faut l'y ramener à l'aide de mouvements rectangulaires dont est douée la lame supérieure de la platine. De plus, les instruments anglais sont le plus souvent munis d'un double tube pour la vision binoculaire. En somme, ces superbes machines sont, en général, assez compliquées, mais admirables de mécanisme. On comprend donc l'élévation de leurs prix. Tels sont les microscopes de MM. Beck, Powell et Lealand, Ross, Crouch, Swift, Collins, Pillischer, Browning, etc. Ajoutons toutefois que plusieurs de ces éminents constructeurs, dont nous ne pouvons décrire ici les modèles (1), sont arrivés,

(1) Voir pour la description des instruments français et étrangers, avec les gravures qui les représentent :

J. Pelletan. *Le Microscope, son emploi et ses applications*. 1 vol. in-8° avec 300 gravures et 4 planches, Paris 1876, G. Masson.

Le Journal de Micrographie, n°s de septembre 1877 et suivants. — Paris, G. Masson.

notamment MM. Crouch, Swift et Collins, à établir ces beaux instruments à des prix beaucoup moins élevés, en leur conservant tous leurs avantages et toute leur perfection.

Nous ne pousserons pas plus loin cette étude; parmi un si grand nombre de modèles nos lecteurs auront à choisir. Nous leur conseillerons toujours, nous le répétons, de s'arrêter à un bon instrument et présentant, autant que possible, tous les perfectionnements. Un microscope ainsi choisi pourra servir à toutes les recherches, même les plus délicates, sera d'un meilleur et d'un plus long usage, en même temps que d'un maniement plus facile et plus sûr. Nous conseillerons donc toujours de choisir un microscope inclinant, à platine tournante avec crémaillère et miroir articulé, de manière à donner l'éclairage oblique. On devra s'assurer que le mécanisme fonctionne bien, c'est-à-dire que les mouvements lent et rapide sont doux sans être trop mous, réguliers, sans secousses ni temps perdu. Si le tube du microscope glisse dans un coulant, on s'assurera qu'il ne ballotte pas dans ce coulant, ce qui arrive trop souvent avec ce genre de mouvement et détruit complétement le centrage de l'instrument. Dans tous les cas, le centrage doit être vérifié. Pour cela, on adapte un diaphragme percé d'une très-fine ouverture qu'on vise avec un objectif de faible grossissement. On doit voir l'ouverture du diaphragme au milieu du champ. Alors on fait tourner le tube dans son coulant, s'il y en a un, autour de l'axe optique, ou bien, on fait tourner la platine autour de ce même axe, et dans l'un comme dans l'autre cas, le trou du diaphragme doit toujours paraître au milieu du champ. Il faut toujours choisir un instrument dont le pied soit lourd ; rien n'est incommode comme un microscope qui se déplace et voyage chaque fois qu'on touche à la préparation, au miroir ou à toute autre pièce du mécanisme. En employant ainsi un modèle assez élevé dans la série, on aura, à notre avis, non-seulement avantage pour le travail, mais même économie si l'on veut se livrer à des recherches sérieuses et suivies. Quand on s'adresse d'abord à des instruments inférieurs, ainsi que le conseillent quelques ouvrages spéciaux, on en reconnaît bientôt l'insuffisance et l'on est obligé de

recourir à de meilleurs modèles, ce qu'on eût pu faire dès l'abord.

Dans tous les cas, les plus grands soins doivent être apportés à la partie optique, c'est-à-dire aux oculaires et aux objectifs.

Les oculaires sont composés de deux lentilles convergentes, dont la première, placée près de l'œil, est le *verre de l'œil* et la seconde, inférieure, est le *verre de champ*, parce qu'elle a pour effet d'agrandir le *champ* visuel de l'instrument. Les oculaires grossissent d'autant plus qu'ils sont plus courts. On les distingue par des numéros, qui malheureusement ne correspondent pas chez tous les constructeurs. M. Nachet et M. Vérick construisent quatre numéros, dont les trois premiers sont à peu près seuls employés. MM. Hartnack et Prazmowski en construisent six. On pourra se contenter des numéros 2, 3 et 4.

Quant aux objectifs, les séries en sont beaucoup plus nombreuses et leur choix est des plus difficiles. C'est de la perfection de l'image fournie par l'objectif que dépend la netteté de l'image perçue par l'œil, car l'oculaire n'a d'autre effet que d'amplifier cette image en l'éteignant plus ou moins suivant qu'il l'agrandit davantage, mais sans y rien ajouter. Il faudra donc choisir des objectifs ayant un grand angle d'ouverture, parce que l'image sera plus éclairée et montrera plus nettement les détails de structure de l'objet que l'on étudie ; il faudra qu'ils soient bien achromatiques, c'est-à-dire, qu'ils ne donnent pas de coloration sur les bords des images ; on choisira enfin ceux qui fournissent dans l'image les linéaments les plus nets et les mieux définis et qui donnent un champ aussi plan que possible. Il faut, nous le répétons, une grande habitude pour reconnaître parmi les objectifs des bons constructeurs ceux qui présentent le mieux toutes ces qualités.

Les modèles de microscopes que nous avons décrits sommairement sont accompagnés d'un certain nombre d'objectifs, mais on peut se borner à quelques-uns de ces objectifs convenablement gradués, si l'on veut limiter sa dépense, quitte à compléter plus tard la collection.

Les meilleurs objectifs français sont ceux de MM. Hartnack et Prazmowski. Dans la nombreuse série de ces constructeurs

émérites on peut choisir les numéros suivants qui satisferont à toutes les exigences des recherches ordinaires :

N° 2.	Grossissant,	suivant les	oculaires, de	25	à 60	diamètres.
4.	—	—	—	60	140	»
5.	—	—	—	100	240	»
7.	—	—	—	200	450	»
8.	—	—	—	250	800	»

Si l'on a recours aux objectifs de M. Vérick, on choisira:

N° 0.	Grossissant,	suivant les	oculaires, de	18	à 75	diamètres.
2.	—	—	—	50	200	»
4.	—	—	—	100	400	»
6.	—	—	--	150	500	»
8.	—	—	—	300	800	»

Les objectifs de M. Nachet ont un angle d'ouverture plus petit et, par conséquent, donnentune image moins éclairée. On choisira les suivants:

N° 0.	Grossissant,	suivant les	oculaires, de	30	à 60	diamètres.
1.	—	—	—	60	120	»
3.	—	—	—	250	500	»
5.	—	—	—	350	800	»

Pour les recherches tout à fait délicates et qui exigent de très-forts grossissements, en même temps qu'un grand pouvoir résolvant, nous conseillerons un seul objectif qu'il faudra, dans ce cas particulier, joindre à sa collection: c'est le N° 10, *à immersion et correction*, de MM. Hartnack et Prazmowski. Ce magnifique objectif qui grossit, suivant les oculaires employés, de 500 à 1,200 diamètres, ne saurait être remplacé par aucun système des autres constructeurs français, mais seulement par quelques objectifs anglais ou américains, ceux de MM. Powell et Lealand ou Tolles, par exemple, dont le prix est beaucoup plus élevé.

On trouvera, en effet, à l'étranger, des objectifs excellents, notamment ceux de M. Zeiss, à Iéna, et en Angleterre, ceux des constructeurs que nous avons nommés précédemment.

II

DES APPAREILS ACCESSOIRES

Outre le microscope proprement dit et ses organes optiques, certains instruments peuvent être utiles, quelques-uns même sont indispensables ; nous allons indiquer les principaux :

1° *Microscope simple, loupe montée, loupe de Brücke.* — Pour les dissections, il sera commode, bien qu'on puisse s'en passer, d'avoir un microscope simple muni de deux ou trois

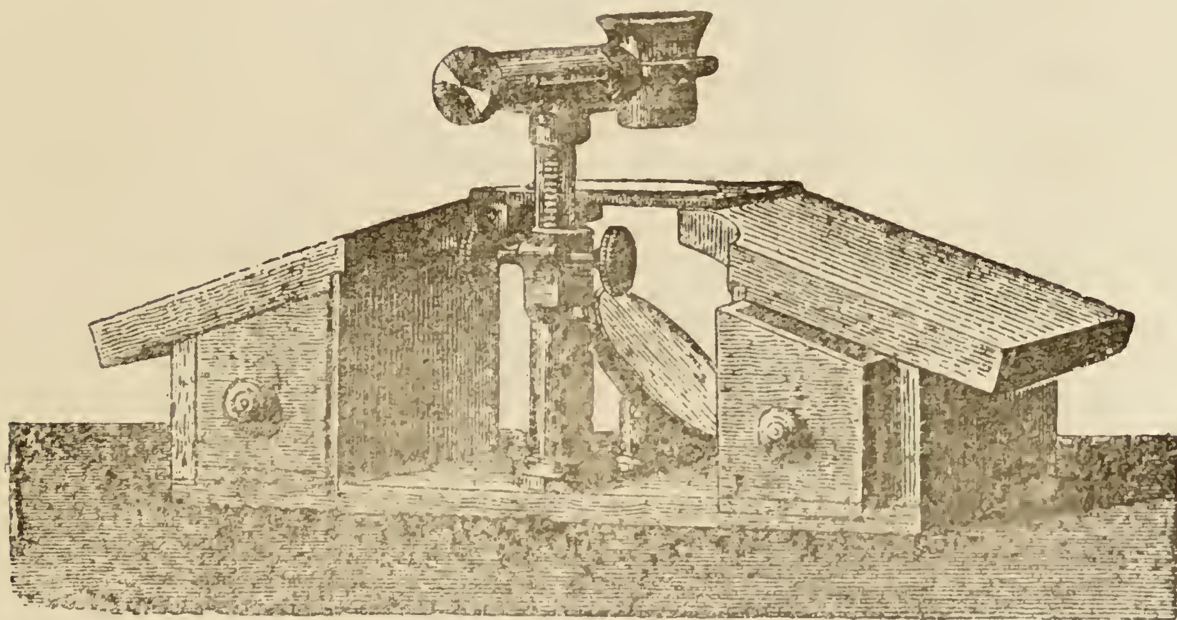


Fig. 8. — Microscope simple de Vérick.

doublets, grossissant de 4 à 10 diamètres. On trouvera cet instrument chez tous les bons constructeurs. Il est utile pour les dissections, parce qu'il ne renverse pas les objets et parce qu'il conserve assez de distance entre l'objet et la lentille pour qu'on puisse facilement faire manœuvrer les aiguilles ou le scalpel. Cette distance, néanmoins, diminue avec le grossissement et, en même temps, il faut appliquer l'œil de plus en plus près de la lentille, ce qui est très-gênant. Pour que l'instrument reste d'un emploi commode, il faut donc se borner à des grossissements modérés et qui ne dépassent pas 10 diamètres.

Le D[r] H. Lawson a inventé un microscope simple binoculaire que construit M. Ch. Collins, à Londres, et qui constitue un excellent instrument. Il est renfermé dans une boîte qui lui sert de support et qui contient les pinces, scalpels, aiguilles, etc., nécessaires à la dissection.

On peut remplacer le microscope simple par une *loupe de Brücke*, montée sur un pied, petit instrument très-commode et dont le grossissement s'élève jusqu'à 10 ou 20 diamètres, en faisant varier l'écartement des lentilles.

Enfin, dans bien des cas, on pourra se servir tout simplement de la loupe montée sur pied qui accompagne les microscopes et connue sous le nom de *loupe à lumière*.

2° *Loupe à lumière*. — C'est une lentille ordinairement montée sur un pied lourd ou bien fixée, dans les petits modèles, au corps ou à la platine du microscope. Son but est, d'après les catalogues, de concentrer les rayons lumineux sur les objets opaques que l'on ne peut, en raison de leur opacité même, éclairer par transparence à l'aide du miroir.

La loupe sur pied est un accessoire indispensable, moins encore pour éclairer les objets opaques que pour rendre parallèles les rayons lumineux provenant des lampes ou autres sources de lumière artificielle, rayons qui sont divergents naturellement. Il faut placer la lumière au foyer principal de la lentille, les rayons qui traversent sortent ainsi parallèles entre eux et l'on peut les diriger sur le miroir.

Enfin, la loupe sur pied, et principalement sur pied articulé, est très-commode, ainsi que nous l'avons dit, pour la dissection, lorsqu'on ne possède ni microscope simple, ni loupe de Brücke.

3° *Chambre claire*. — La chambre claire est un instrument qui sert à transporter l'image vue dans le microscope sur une feuille de papier où l'on peut la dessiner.

Il y a un grand nombre de systèmes et de modèles de chambres claires : ceux de Wollaston, de Sömmering, d'Amici, de Govi ou de Nachet, d'Oberhäuser, etc.

Les plus commodes, en raison de la position verticale de nos instruments actuels, transportent l'image sur la table au pied

du microscope. Telles sont les chambres claires de M. Nachet et d'Oberhäuser, etc.

La chambre claire d'Oberhäuser (*fig.* 9) consiste en un tube que l'on introduit dans le microscope à la place de l'oculaire. Il contient un prisme à réflexion totale qui réfléchit les rayons

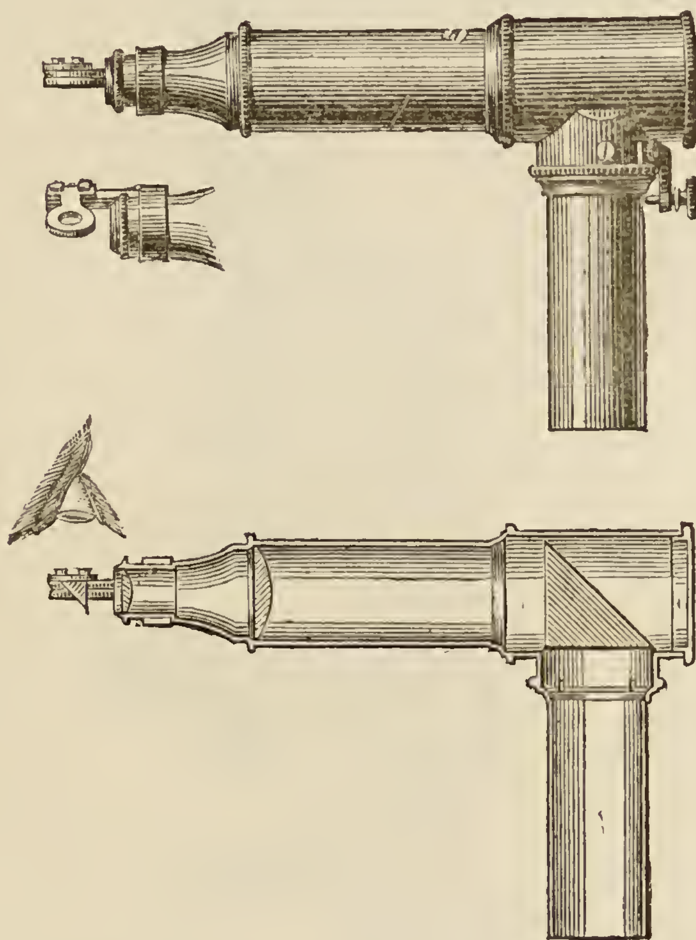


Fig. 9. — Chambre claire d'Oberhäuser, construite par Hartnack et Prazmowski.

émanés de l'objet dans un tube horizontal. Ceux-ci, concentrés par une lentille, arrivent à un second petit prisme extérieur, contre l'arête duquel l'observateur applique l'œil, ce qui lui permet de voir à la fois le champ du microscope à travers le prisme et, directement, le papier placé au-dessous du prisme, sur la table où l'image se trouve reportée. Il peut ainsi en suivre les contours avec un crayon.

Les dimensions de l'image sur le papier augmentent à mesure

que la distance verticale de ce dernier au prisme est plus grande, mais, en même temps, sa netteté diminue. De plus, la chambre claire d'Oberhäuser, une des plus commodes avec

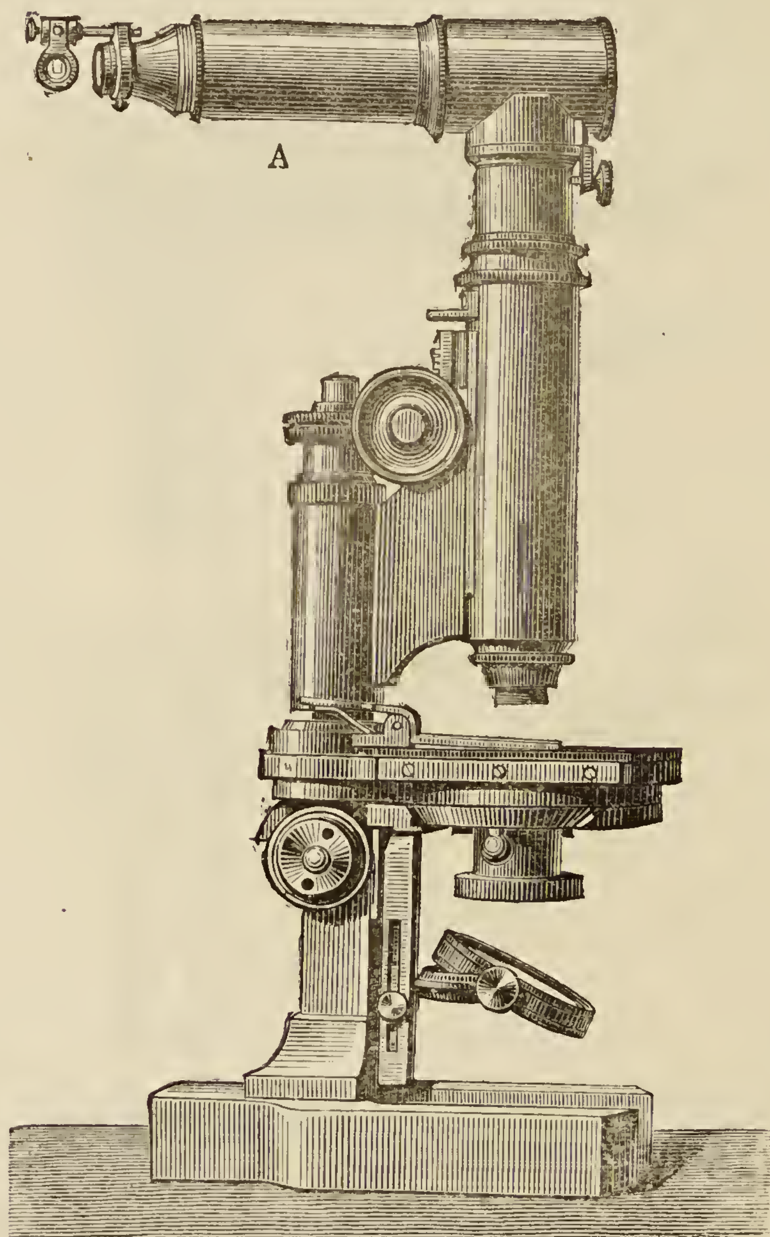


Fig. 10. — Microscope grand modèle, n° 2, de Vérick, avec la chambre claire d'Oberhäuser, A.

celle de M. Nachet, agrandit encore en raison de la longueur du tube horizontal (A, *fig.* 10) que les rayons ont à parcourir.

L'usage de la chambre claire est assez difficile à acquérir, et l'une des principales difficultés consiste à placer toujours

exactement l'œil au même endroit, sur le prisme, pour que l'image se reporte toujours à la même place sur le papier. Une autre difficulté gît dans l'éclairage différent de l'image et du papier. Avec les objectifs faibles, l'image est tellement lumineuse qu'on ne peut distinguer que très-difficilement la pointe du crayon sur le papier. Il faut alors diminuer l'éclat de l'image en employant le miroir plan, qui donne moins de lumière que le miroir concave, ou en le recouvrant d'une lame de glace bleue plus ou moins épaisse (1). On peut aussi rendre la pointe du crayon plus lumineuse en l'enduisant d'un peu de couleur blanche.

Si l'on emploie, au contraire, des objectifs forts, l'image reportée est très-pâle et ses contours se fondent sur le papier relativement très-éclairé. Il faut alors rendre, inversement, l'image plus lumineuse par un éclairage intense et amortir l'éclat du papier, en plaçant au-dessous du prisme des lames de glace bleue plus ou moins épaisses ou foncées. On peut aussi employer, au lieu de papier blanc, des papiers de nuances un peu sombres, gris ou bleuâtres, qui absorbent davantage la lumière et la réfléchissent moins.

Dans tous les cas, l'exécution complète d'un dessin microscopique à la chambre claire est toujours assez difficile, mais cet instrument est très-commode pour tracer les contours d'ensemble et les principaux linéaments de l'image. On achève le dessin en reproduisant, le plus exactement possible, les détails que l'on observe directement dans le microscope, après avoir enlevé la chambre claire.

4° *Appareil binoculaire.* — M. Nachet a, le premier en France, et peut-être même en Europe, construit un appareil qui permet l'emploi des deux yeux et possède l'importante propriété de conserver aux objets leur relief naturel Cet appareil est des plus utiles pour donner immédiatement l'explication de la forme de certains objets ; malheureusement, on ne peut l'employer qu'avec de faibles grossissements.

(1) Les microscopes de MM. Hartnack et Prazmowski sont munis, à cet effet, d'une coulisse placée sous le diaphragme et dans laquelle on peut introduire diverses lames de glace bleue.

L'appareil binoculaire de M. Nachet se compose de deux tubes que l'on substitue au tube unique du microscope monoculaire ordinaire. A l'aide d'une vis particulière, l'écartement des deux tubes peut être modifié de manière à s'adapter aux yeux de divers observateurs. Le champ fourni par l'objectif est coupé en deux par un prisme; une partie des rayons arrive ainsi directement à l'œil gauche, tandis que l'autre, après deux réflexions, est amenée à l'autre œil (1).

MM. Hartnack et Prazmowski ont construit un autre appareil dans lequel des réfractions sont substituées aux réflexions, ce qui perd moins de lumière. Il s'adapte au tube du microscope ordinaire comme un oculaire. On peut l'employer avec des grossissements plus considérables.

M. Wenham, de Londres, est l'inventeur d'un système analogue à celui de M. Nachet, et qui est appliqué à presque tous les microscopes anglais, lesquels, avons-nous dit, sont ordinairement binoculaires. En poussant un petit tiroir situé au-dessus de l'objectif, on amène le prisme au milieu du champ et le microscope est binoculaire; en le retirant, le champ devient libre, et l'on peut se servir du tube du côté droit qui fonctionne alors comme microscope monoculaire.

Le binoculaire n'est pas un instrument indispensable, mais certainement fort utile dans bien des cas, particulièrement pour l'examen des injections vasculaires; ses effets sur les préparations opaques sont tout à fait saisissants.

5° *Condensateurs.* — Les condensateurs sont des systèmes optiques que l'on place sous la platine à une distance convenable pour concentrer les rayons lumineux émanés du miroir sur l'objet qui doit être placé au foyer de ce système. Beaucoup d'objectifs peuvent servir à cet usage, tels que les n°s 2 et 4 de MM. Hartnack et Prazmowski.

Le condensateur de Dujardin est le plus connu en France, bien qu'il soit peu employé, mais, en Angleterre et en Amérique, on fait un usage constant d'un grand nombre de condensa-

(1) Voir, pour la théorie du Binoculaire, le *Microscope, son emploi et ses applications*, page 61.

teurs pour l'éclairage central et l'éclairage oblique; tels sont les condensateurs de Beck, de Ross, de Swift, de Webster et celui du Dr Abbé, que construit M. Zeiss (1).

6° *Prisme redresseur.* — Le prisme redresseur est un instrument d'une utilité tout à fait secondaire. Il consiste en un prisme destiné à coiffer l'oculaire du microscope, ou combiné de manière à remplacer l'oculaire, et qui redresse, c'est-à-dire rétablit dans la position réelle de l'objet, l'image qu'en fournit le microscope composé, laquelle, comme on le sait, est toujours renversée.

7° *Appareil de polarisation.* — Quand un rayon de lumière traverse un prisme de Nicol, il y subit le phénomène de la double réfraction : le rayon ordinaire est réfléchi totalement par la couche de baume du Canada qui réunit les deux sections du prisme, tandis que le rayon extraordinaire seul traverse ce prisme. Si l'on reçoit ce rayon sur un second prisme de Nicol, il subit encore la double réfraction et, le rayon ordinaire étant éliminé, le rayon extraordinaire arrive seul à l'œil placé derrière ce système. Mais si l'on fait tourner sur lui-même l'un de ces prismes de manière que son plan de polarisation fasse successivement tous les angles de 0° à 360°, avec le plan de polarisation de l'autre prisme, on remarque que dans certaines positions des deux prismes la lumière les traverse, tandis que dans d'autres elle est absolument éteinte comme si on avait interposé entre eux un écran.

Si donc on place un prisme de Nicol sous la platine d'un microscope dans le tube du diaphragme (prisme *polariseur*), et un autre au-dessus de l'objectif ou de l'oculaire (prisme *analyseur*), et que l'on fasse tourner l'un quelconque dans sa monture pendant que l'autre reste fixe, on verra le champ éclairé s'assombrir peu à peu et devenir obscur, puis s'éclaircir de nouveau pour redevenir brillant, et ainsi de suite, suivant que les plans de polarisation des deux Nicols seront perpendiculaires ou parallèles.

(1) Voir le *Microscope, etc.*, pp. 110 et suiv.

Si, le champ étant obscur, les Nicols croisés, comme on dit, on place sur la platine des corps transparents, on verra certains d'entre eux apparaître brillants sur le fond noir, parce qu'ils sont biréfringents eux-mêmes et que le rayon extraordinaire qu'ils reçoivent du premier prisme y subit une double réfraction en vertu de laquelle des rayons peuvent traverser le second Nicol et parvenir à l'œil. Ces corps, biréfringents, sont dits aussi *anisotropes*, par opposition à ceux qui, n'étant pas doués de la double réfraction, monoréfringents, ne paraissent pas éclairés quand le champ est obscur, et sont dits *isotropes*.

D'autres corps, brillants quand les Nicols sont croisés, deviennent obscurs quand on tourne l'un des prismes d'un certain nombre de degrés. Ceux-là sont doués du *pouvoir rotatoire*, en vertu duquel ils font dévier vers la droite ou vers la gauche le plan de polarisation, et le nombre de degrés dont il a fallu faire tourner l'un des prismes pour obtenir l'extinction totale, mesure la valeur de ce pouvoir rotatoire.

Tels sont, d'une manière générale, les phénomènes que l'on utilise dans le microscope pour étudier la composition intime de certaines substances. On comprend que nous ne pouvons entrer ici dans une analyse plus approfondie de ces faits pour laquelle nous sommes obligé de renvoyer le lecteur aux traités de physique.

Ajoutons, cependant, que la structure particulière de certains corps peut donner naissance en même temps à des phénomènes de coloration des plus remarquables. On peut, d'ailleurs, produire ces effets en plaçant sur la face d'émergence du premier prisme des lames taillées suivant une direction et des épaisseurs déterminées dans certains cristaux, tels que le gypse, le mica, etc. Ces lamelles, dites *lames sensibles*, de Biot, agissent de telle sorte que les Nicols étant croisés, au lieu qu'il y ait extinction totale, certains rayons colorés, composants de la lumière blanche, peuvent traverser, et le champ apparaît bleu, rouge, etc., suivant la lame employée, tandis que les objets biréfringents placés dans ce champ prennent la couleur complémentaire : orangé, vert, etc. Lorsqu'on fait tourner un des prismes, il se fait une inversion des couleurs,

en passant par toutes les nuances intermédiaires, celle du fond et celle de l'objet étant toujours complémentaires.

Tous les corps à structure lamelleuse, les fins cristaux, la fécule, le tissu osseux, etc., sont doués, à un degré plus ou moins marqué, de cette propriété de *polarisation chromatique.*

Ajoutons que la différence d'action que manifestent divers corps sur la lumière polarisée ne prouve pas nécessairement qu'ils soient composés de substances différentes, mais seulement d'une substance différemment constituée moléculairement. Un même corps peut être monoréfringent, le verre par exemple, quand sa structure moléculaire est homogène, et devenir biréfringent quand sa structure n'est pas homogène, par exemple sous l'influence de la pression, de la flexion, de la torsion, de la tension ou de l'étirage dans un certain sens.

Les appareils de polarisation pour le microscope se composent de deux Nicols, dont l'un, au moins, mobile dans sa monture. L'un se place sous la platine, (il est ordinairement suivi d'une lentille convergente faisant fonction de condensateur), l'autre se pose sur l'oculaire ou se visse sur l'objectif dans le tube du microscope.

MM. Hartnack et Prazmowski construisent un appareil de polarisation extrêmement commode et soigné, dans lequel le prisme supérieur tourne sur l'oculaire avec un index qui court sur un cercle divisé, ce qui permet de mesurer les angles que forment les plans de polarisation. De plus, les Nicols ont été remplacés par des prismes de Prazmowski, qui ont l'avantage d'absorber beaucoup moins de lumière et de donner un champ beaucoup plus étendu (1).

Cet appareil est le seul vraiment scientifique qui se construise en France. En Angleterre, où le microscope est souvent un instrument de distraction plutôt que de travail, on apporte un soin tout particulier à la construction de ces instruments, en raison des magiques effets de polarisation chromatique qu'ils produisent; tous sont munis de pièces mobiles placées au-

(1) Voir pour la théorie du prisme de Prazmowski le *Journal de Micrographie*, août 1877.

dessus du polariseur et contenant des lames de mica et de gypse, qui peuvent tourner dans leur monture. L'excellent condensateur de M. Swift contient un appareil polariseur tout entier.

8° *Microspectroscope.* — Le microspectroscope est un petit spectroscope à vision directe adapté à un oculaire qu'on substitue à celui du microscope.

Au-dessus de cet oculaire est un système de trois ou cinq prismes destiné à produire la dispersion du pinceau lumineux qui traverse l'appareil et à l'étaler en un spectre que l'opérateur observe directement. Ce système oculaire vise une

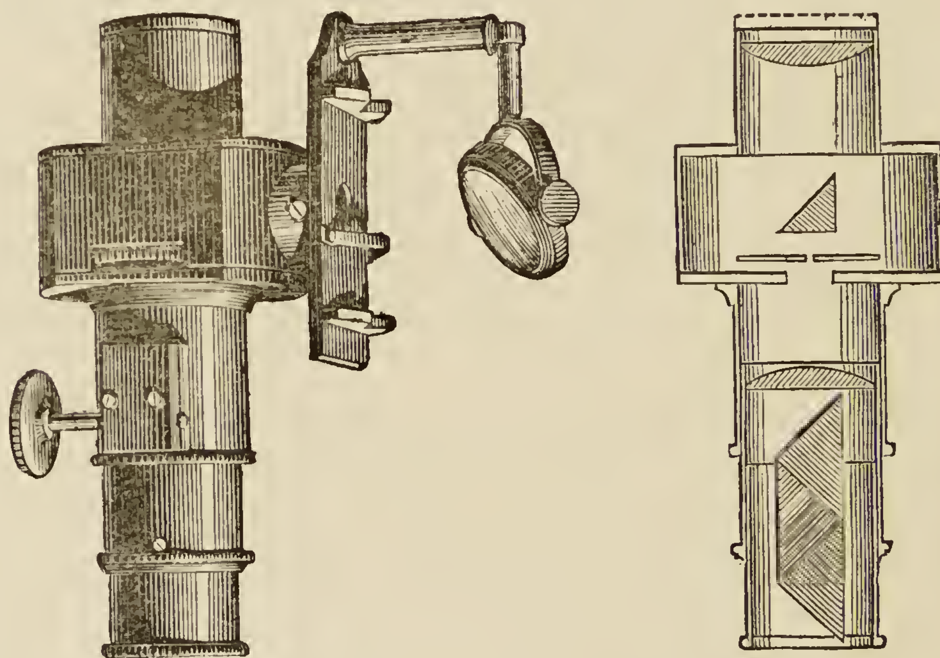


Fig. 11. — Microspectroscope de Hartnack et Prazmowski.

fente que l'on peut rendre aussi mince qu'on le veut, à l'aide d'une vis ; on met au point à l'aide d'un bouton moletté. C'est l'image de la fente, observée à travers les prismes, qui s'étale en spectre. Si, d'autre part, on munit le microscope d'un objectif et qu'on place sur la platine un objet qui ait la propriété d'absorber certains rayons du spectre, comme de l'eau contenant un peu de sang, on constate immédiatement les bandes d'absorption en examinant le spectre dans l'oculaire. On peut, d'ailleurs, comparer ce spectre avec un spectre normal, grâce

à l'ouverture latérale de l'instrument, ouverture dans laquelle un petit miroir réfléchit les rayons de la lumière solaire. Ces rayons viennent subir la réflexion totale sur un petit prisme que l'on peut, à l'aide d'un levier, amener devant la fente dont il occupe la moitié de la hauteur. En appliquant l'œil sur l'oculaire, on verra donc la fente étalée en deux spectres placés l'un au-dessus de l'autre ; l'un, spectre normal de la lumière du jour fourni par le petit prisme ; l'autre, spectre du sang fourni par l'objectif.

Une autre ouverture, placée tout en haut de l'oculaire, peut, comme dans le microspectroscope de Zeiss, contenir un micromètre dont un petit miroir projette l'image sur la face supérieure du premier prisme à dispersion, ce qui permet de mesurer la position et la largeur des bandes d'absorption.

Le microspectroscope est un instrument délicat et fragile, mais d'une sensibilité extrême. M. Richardson a pu, à son aise, reconnaître, d'une manière appréciable, les bandes d'absorption formées par l'hémoglobine d'un seul globule sanguin. Il a été construit pour la première fois par M. Browning, sur les plans de M. Sorby, le savant président de la Société Microscopique de Londres.

9° *Chambre humide et chambre à gaz.* — Il est souvent indispensable d'étudier certains éléments dans une atmosphère à la fois humide et aérée ; on emploie dans ce but la chambre humide. La plus commode est celle que construit M. Vérick, et que l'on peut d'ailleurs fabriquer facilement.

Sur une lame de verre porte-objet on colle, avec de la glu marine ou de la térébenthine cuite, de petites bandes de verre qui lui forment comme un cadre, au milieu duquel règne un espace ou cuvette rectangulaire. Au centre de cette cuvette, on colle de même une rondelle de verre dont l'épaisseur ait 1/10 de millimètre de moins que celle des bandes formant les bords du cadre. C'est sur cette rondelle qu'on dépose l'objet à étudier, et tout autour règne une rigole comprise entre la rondelle et les bords du cadre, rigole dans laquelle on place un peu d'eau ; puis on recouvre l'objet avec une lamelle mince qui s'appuie sur les bords du cadre où on peut la luter avec de la araffine,

pour empêcher l'évaporation. L'objet se trouve ainsi dans l'atmosphère d'air et de vapeur d'eau qui règne dans la rigole.

Au lieu d'une lame de verre on peut employer une lame de laiton percée au centre d'un trou circulaire. On ferme ce trou en dessous avec une lamelle de verre collée à la térébenthine, et on établit la rondelle sur cette lamelle, de manière à laisser une rigole entre ses bords et ceux du trou. La rondelle a une épaisseur de 1/10 de millimètre de moins que la lame de laiton. On recouvre de même avec une lamelle qui porte sur les bords du trou ; on a donc encore une chambre humide. Mais si la lame de laiton est forée, dans toute sa longueur et par ses deux bouts, d'un canal qui aboutit dans la cuvette ; si les orifices extérieurs de ce canal portent de petites douilles métalliques où l'on puisse adapter des tubes en caoutchouc, on comprend qu'on pourra faire circuler dans la cuvette tel gaz que l'on voudra, et entretenir la préparation placée sur la rondelle dans une atmosphère gazeuse.

10° *Platine chauffante.* — S'il est besoin d'entretenir une préparation à une température donnée, qu'elle soit placée sur un porte-objet ordinaire ou dans la chambre humide, on aura recours à la platine chauffante. L'appareil employé par M. Ranvier est le plus commode. Il consiste en une étuve rectangulaire en laiton, évidée sur le côté, de manière à présenter une sorte de fente dans laquelle on introduit la préparation, et percée en dessus et en dessous de deux trous qui se correspondent, de manière qu'elle puisse être traversée dans toute sa hauteur par la lumière qui va du miroir à l'objectif. L'étuve est d'ailleurs remplie d'eau chaude, dont la température est donnée par un thermomètre qui plonge à travers un bouchon par une tubulure. La préparation, placée par la fente latérale dans le trajet du rayon lumineux, se trouve donc entourée par une couche d'air très-sensiblement à la même température que l'eau de l'étuve.

Pour entretenir cette température, on se sert d'une petite chaudière absolument pleine d'eau, ainsi que l'étuve, et ne contenant pas d'air. Cette chaudière, placée sur une lampe à alcool, porte deux tubulures latérales, l'une en haut, l'autre en

bas, et qui sont, par deux tubes en caoutchouc, mises en communication avec deux tubulures placées de même sur l'étuve. Etuve et chaudière sont hermétiquement fermées ; si alors on dispose le microscope, et l'étuve posée sur sa platine, à un niveau supérieur à celui de la chaudière, il s'établit dans ce petit thermosiphon un courant d'eau chaude, ascendant par le tube supérieur, et un courant d'eau refroidie, descendant par le tube inférieur ; ce qui permet, en réglant convenablement la flamme de la lampe, de maintenir aussi longtemps qu'on le veut une température donnée.

11° *Porte-objets* et *lamelles*. — On appelle *lames* ou *porte-objets*, *lamelles* ou *couvre-objets*, les lames de verre entre lesquelles on place toujours les objets que l'on veut examiner au microscope. Il faut choisir des lames de glace parfaitement planes et sans défauts. Les lamelles sont de petits carrés ou de petits cercles de verre excessivement mince, de 1/4 à 1/20 de millimètre d'épaisseur, qui servent à recouvrir l'objet placé dans une goutte de liquide sur la lame porte-objet. Il est inutile d'ajouter que lames et lamelles doivent être toujours parfaitement propres et que l'on doit en avoir une provision suffisante.

12° *Instruments de dissection*. — Les instruments de dissection sont de fins scalpels, des pinces à mors fins et non dentés et à ressort très-doux, des ciseaux droits et courbes et des aiguilles montées sur un manche. Celles-ci, qui constituent l'agent de dissociation le plus délicat, doivent être très-fines et parfaitement lisses. On peut employer des aiguilles à coudre, dont on refait la pointe sur une pierre fine mouillée de glycérine.

A ces instruments il faut joindre des rasoirs, les uns à trempe dure, les autres à trempe molle, qui serviront à faire des coupes dans les tissus durs ou dans les tissus mous.

Pour aiguiser les instruments on se sert d'une pierre du Levant mouillée de glycérine étendue d'eau. Il faut frotter les instruments sur la pierre en les posant bien à plat et le tranchant en avant

III

DU GROSSISSEMENT

Le grossissement obtenu par le microscope est représenté par le produit obtenu en multipliant le grossissement de l'objectif par celui de l'oculaire. Ainsi, si l'objectif grossit 40 fois et l'oculaire 5 fois, le grossissement résultant sera $40 \times 5 = 200$ fois.

Pour obtenir un grossissement donné, il vaut toujours mieux, afin de conserver à l'image sa netteté et son éclairage, combiner un objectif plus fort à un oculaire plus faible. Ainsi, un objectif grossissant 20 fois combiné à un oculaire grossissant 10 fois, produirait aussi un grossissement de $20 \times 10 = 200$ fois ; mais l'image sera bien plus nette et plus brillante avec la première combinaison qu'avec la seconde. Il faut, comme on dit, réaliser le plus possible le grossissement avec l'objectif.

Les objectifs, comme les oculaires, sont des systèmes optiques composés que l'on peut comparer chacun à une lentille unique, produisant le même effet et qui aurait une longueur focale donnée. C'est par cette *longueur focale de la lentille équivalente*, (évaluée le plus ordinairement en pouces et fractions de pouce anglais), que l'on désigne le plus souvent les objectifs. C'est ainsi que l'on dit : Un objectif de 1/4, 1/5 ou 1/10 de pouce. La plupart des opticiens indiquent ces longueurs focales équivalentes à côté des numéros par lesquelles ils désignent leurs objectifs.

En regard de chacun de ces objectifs, ils portent ordinairement des chiffres représentant les grossissements qu'il fournit avec les divers oculaires, chiffres souvent tout à fait fantaisistes et toujours exagérés. MM. Hartnack et Prazmowski ont adopté un système beaucoup plus exact et qui consiste à donner séparément le grossissement réel et absolu de chaque objectif, considéré comme sa lentille équivalente, et le grossissement réel de chaque oculaire. Pour obtenir le chiffre du grossissement résultant de la combinaison de tel objectif avec tel

oculaire, il suffit de multiplier, l'un par l'autre, les chiffres qui représentent les grossissements séparés de l'objectif et de l'oculaire.

Mesure du grossissement. — Néanmoins, on peut mesurer directement le grossissement obtenu par une combinaison donnée. Pour cela, il y a plusieurs méthodes, plus ou moins exactes, mais l'une des plus commodes consiste à employer la chambre claire et le *micromètre objectif* (1).

Le micromètre objectif est une lame de verre sur laquelle, à l'aide de la machine à diviser, on a divisé un millimètre en un certain nombre de parties égales, par exemple en 100 parties ; chacune des divisions représente donc 1/100 de millimètre. On place le micromètre sur la platine et l'on met au point. On voit alors la division, invisible à l'œil nu. Si l'on adapte la chambre claire, on peut reporter l'image des divisions sur une feuille de papier, où on la trace avec un crayon. Le papier devra être placé sur la table à une distance verticale de la chambre claire égale à la distance de la vision distincte, évaluée ordinairement à 25 centimètres. Puis on compare le dessin avec une règle divisée en millimètres. Il est clair que si chaque division du dessin, c'est-à-dire un centième de millimètre grossi, correspond à un millimètre de la règle, c'est que le microscope ainsi monté grossit 100 fois. Si chaque division du dessin correspond à deux millimètres de la règle, c'est que le microscope grossit 200 fois, et ainsi de suite.

On conçoit qu'on peut faire tomber l'image sur la règle elle-même, sans faire de dessin, et mesurer directement l'écartement des divisions de l'image sur les divisions de la règle.

Il sera toujours utile d'établir, une fois pour toutes, le grossissement vrai de chacun de ses objectifs avec les divers oculaires, en ayant soin de prendre toujours les mesures à la même distance verticale, par exemple $0^{m}25$, que l'on considère généralement comme étant celle de la vision distincte normale.

(1) Voir pour plus de détails *le Microscope, son emploi et ses applications*, p. 155 et suivantes.

Mensuration des objets microscopiques. — Une notion bien plus généralement utile est celle de la dimension exacte des objets microscopiques, mesure que l'on peut obtenir avec la plus grande exactitude. Il y a aussi pour cette recherche un grand nombre de méthodes, mais la plus commode et la plus rapide consiste à employer le micromètre objectif et le *micromètre oculaire.*

Le micromètre oculaire est un oculaire dans lequel on a placé, un peu en deçà du foyer du verre de l'œil, une lame de verre sur laquelle on a divisé, par exemple, un centimètre en 100 parties, ou 1/2 centimètre en 50 parties, ce qui est la même chose.

On place le micromètre objectif sur la platine et, l'oculaire micromètre étant adapté, on fait tomber les divisions grossies du premier sur celles, grossies aussi, du second. On compte alors combien de divisions de l'oculaire correspondent à une division du micromètre objectif, c'est-à-dire à 1 centième de millimètre. S'il faut 5 divisions de l'oculaire pour couvrir l'espace de 1 centième de millimètre, c'est que chaque division vaut 5 fois moins que 1 centième de millimètre, c'est-à-dire $\frac{1}{500}$ de millimètre. Si alors on substitue au micromètre objectif le corpuscule à mesurer et qu'il faille 3 divisions de l'oculaire pour couvrir son diamètre, c'est que celui-ci mesure $3 \times \frac{1}{500}$ de millimètre $= \frac{3}{500}$ de millimètre, ou en réduisant en fractions décimales $= 0^{mm}006$.

On pourra ainsi construire un tableau qui donnera la valeur, en fractions de millimètre, de chaque division du micromètre oculaire, pour tous les objectifs que l'on possède. De cette manière, chaque fois que l'on trouvera dans une préparation un objet dont on voudra mesurer le diamètre, on n'aura qu'à substituer l'oculaire micromètre à l'oculaire employé, compter le nombre de divisions qui mesurent ce diamètre et se reporter au tableau correspondant à l'objectif dont on se sert, pour savoir immédiatement combien ce nombre de divisions représente de centièmes ou de millièmes de millimètre.

On voit qu'il est absolument inutile ici de connaître le chiffre du grossissement donné par le système optique, les

seules conditions sont que le micromètre objectif qui a servi d'étalon soit correctement divisé, ainsi que le micromètre oculaire, et que l'on se serve toujours du même micromètre oculaire.

La chambre claire permet aussi de mesurer les objets microscopiques à l'aide de divers procédés que chaque observateur trouvera aisément. Par exemple, on peut reporter l'image de l'objet sur une règle divisée, placée à la distance de la vision distincte, ou bien transporter sur une feuille de papier placée à une distance connue l'image du micromètre objectif, et tracer sur ce papier les divisions du micromètre telles qu'elles sont données. Si maintenant, sans changer le système optique, on remplace le micromètre objectif par le corpuscule à mesurer, on peut transporter son image sur les divisions qu'on vient de tracer et la mesurer directement avec ces divisions qui, quel que soit le grossissement connu, ou inconnu, du système, représentent des centièmes de millimètre.

On peut construire ainsi des tableaux étalons pour chaque objectif et ses combinaisons avec les divers oculaires, et s'en servir pour mesurer les objets microscopiques avec chacun de ces systèmes, en plaçant toujours le tableau étalon à la même distance verticale de l'oculaire.

On comprend que par ces procédés l'objet et l'étalon étant grossis dans la même proportion, leur rapport, c'est-à-dire la mesure du premier, est donnée exactement, quel que soit le chiffre, connu ou non, du grossissement.

On peut d'ailleurs effectuer ces opérations sans chambre claire et à l'aide de la *double vue*, c'est-à-dire en regardant l'image dans le microscope avec l'œil gauche et les divisions de la règle ou de l'étalon, en dehors, avec l'œil droit. On arrive ainsi, avec un peu d'habitude, à distinguer nettement les deux images et à les superposer. Néanmoins, ce procédé est toujours moins précis que le précédent.

Pour la mensuration des objets microscopiques, on a pris comme unité de longueur le millième de millimètre ($0^{m}000001$, ou $0^{mm}001$) qu'on désigne sous le nom de *micro-millimètre*, et qu'on représente ordinairement par la lettre grecque μ. Ainsi : $25\ \mu = 0^{mm}025$; $5{,}7\ \mu = 0^{mm}0057$.

CHAPITRE II

DES PRÉPARATIONS

I

EXAMEN GÉNÉRAL ET DISSECTION

Pour faire de bonnes observations, avons-nous dit, il faut avoir de bons instruments, mais il faut surtout faire de bonnes préparations et employer de bonnes méthodes de recherches. C'est là certainement la partie la plus délicate des études histologiques, celle qui exige le plus d'attention, de patience et aussi le plus d'habitude.

Il est, on le comprend, absolument impossible de donner à ce sujet des règles absolues, car les procédés d'étude diffèrent essentiellement suivant la nature des tissus que l'on examine, les éléments que l'on recherche dans les tissus, ou les détails de structure dont on veut se rendre compte. Aussi, nous indiquerons au fur et à mesure les modes particuliers de préparation qui nous paraissent les plus avantageux pour l'étude des divers tissus et des éléments histologiques dont nous avons à retracer l'histoire.

Toutefois, il est certaines opérations générales qui ont pour effet de rendre propres à l'examen microscopique les pièces que l'on veut étudier, et dont nous devons dire ici quelques mots.

La première condition pour faire une bonne préparation est d'acquérir, par tous les moyens, une notion aussi complète que possible de l'objet à examiner, parce que c'est d'après les connaissances ainsi acquises que l'on peut juger des méthodes à employer pour poursuivre l'étude entreprise jusque dans ses derniers détails.

C'est ainsi qu'il faut rechercher si le tissu est composé de fibres, de membranes, de lamelles, de cellules, etc., afin de lui appliquer les procédés de dissociation les plus favorables.

On conçoit, en effet, qu'on doit, le plus souvent, chercher à isoler autant que possible les éléments histologiques, et donner aux préparations la moindre épaisseur afin qu'elles acquièrent le plus de transparence.

Ensuite, il faudra chercher les moyens appropriés pour mettre en évidence ces divers éléments, fibres, cellules, noyaux, vaisseaux, et pour les différencier les uns des autres à l'aide de certains réactifs.

On devra donc d'abord, par une dissection attentive, séparer les parties que l'on veut étudier, ce qui peut souvent se faire à l'œil nu, souvent aussi en s'aidant de la loupe, du microscope simple ou d'un microscope composé muni d'un objectif à faible grossissement, et, si l'on veut, pour plus de commodité, d'un prisme redresseur pour redresser les objets que le microscope renverse, ce qui rend la dissection assez difficile à moins d'avoir de cette opération une assez grande habitude.

Cette dissection se fait avec les scalpels, les ciseaux droits ou courbes, les pinces à mors aigus, dentés ou lisses, suivant les circonstances, et les aiguilles fines montées sur un manche en bois. De ces aiguilles, les unes seront rigides et les autres flexibles, les unes droites, les autres courbes, suivant les cas.

La pièce étant séparée, il faut souvent procéder à une dissection plus profonde, plus intime, destinée à isoler autant que possible les éléments, et à réduire les préparations à une minceur qui permette l'examen microscopique. Ce résultat est atteint par la dissociation, les coupes minces, etc.

II

DISSOCIATION

La dissociation se fait par divers moyens, moyens mécaniques, moyens chimiques, ou par la combinaison des uns et des autres.

Les tissus composés d'éléments fibreux ou filamenteux comme les muscles, les nerfs, se dissocient principalement avec les aiguilles sur une lame de verre, dans quelques gouttes d'un liquide approprié. Il faut avoir soin d'appliquer les aiguilles, autant que possible, au même point, afin de ne pas détruire dans toute la préparation les éléments délicats, et exercer des tractions ménagées dans le sens perpendiculaire aux fibres ou aux filaments.

On comprend que certains moyens particuliers peuvent faciliter la dissociation, par exemple, ceux qui auront pour effet de dissoudre, de ramollir ou de rompre la substance qui unit entre eux les éléments fibreux. C'est ainsi que M. Ranvier, le plus ingénieux, le plus sagace, le plus habile et le plus exact de nos histologistes, a imaginé de soumettre certains tissus, comme le tissu musculaire vivant, à une demi-coction, en le plongeant pendant 15 à 20 minutes dans de l'eau à 50°-55°, ce qui ramollit le tissu conjonctif intra-fasciculaire, en même temps que la coagulation de l'albumine, à cette température, durcit les faisceaux musculaires. La dissociation des fibres du muscle se fait ainsi sans difficulté. Les injections interstitielles, à l'aide d'une seringue hypodermique, dans l'épaisseur du tissu conjonctif, mode de préparation dû aussi au même auteur, en écartant les faisceaux, les fibres et les cellules, par l'effet du liquide injecté, aident de même à la dissociation.

L'insufflation qui injecte de l'air, au lieu d'un liquide, entre les éléments, soit avec une seringue à canule fine et tranchante, soit avec une simple pipette en verre à pointe effilée, permet d'obtenir des résultats analogues, par exemple, de séparer les divers feuillets qui composent une membrane.

La *macération* plus ou moins prolongée dans l'eau ou dans différents liquides qu'on préserve de la décomposition et de l'invasion des bactéries et des cryptogames à l'aide d'un morceau de camphre, de quelques cristaux d'acide phénique ou d'une couche superficielle d'essence de térébenthine, arrive, dans certains cas, à des résultats analogues.

Ces procédés, par lesquels on ramollit ou dissout les substances interstitielles, sont assez nombreux, car on peut employer divers dissolvants chimiques, parmi lesquels nous devons signaler :

L'*alcool* à 36° Cartier, étendu de deux fois son volume d'eau distillée, dit *alcool au tiers* (Ranvier).

Le *sérum iodé* (Max Schultze) (1).

La *potasse* à 40 p. 100 (Moleschott) (2).

L'*acide chrômique* à 2 ou 3 pour 10,000 (M. Schultze) ou le *bichrômate de potasse* à 2 ou 3 pour 1,000.

L'*acide azotique* à 20 p. 100 (Kölliker) etc.

Après un séjour de 12 à 24 heures dans ces différents réactifs, choisis d'ailleurs suivant le tissu qu'on veut dissocier, les pièces réduites en très-petits fragments de quelques millimètres de côté, se laissent facilement diviser, ainsi que nous l'exposerons par la suite.

(1) *Sérum iodé :* la meilleure manière de le préparer consiste à saturer avec des cristaux d'iode, que l'on remplace au fur et à mesure, une certaine quantité de sérum amniotique de vache ou de brebis qu'on trouve dans les abattoirs, ou d'humeur aqueuse de l'œil du bœuf ou du veau, sérum qu'on place sous une faible épaisseur dans un flacon à fond large.

(2) Il ne faut pas employer les solutions étendues de potasse ou de soude, qui détruisent tous les éléments. Les dissolutions concentrées, de 40 à 50 pour cent, comme le réactif de Moleschott, ne fournissent même que des préparations éphémères Il faut conserver ces dissolutions dans des flacons fermés avec un bouchon en caoutchouc non vulcanisé.

III

PRATIQUE DES COUPES MINCES ET DURCISSEMENT.

Dans un grand nombre de cas, il est utile de pratiquer dans les tissus des coupes longitudinales ou transversales, très-minces, afin qu'elles aient le plus de transparence possible.

Certains tissus, comme les cartilages, ont une consistance telle qu'il est facile de pratiquer des coupes dans tous les sens, à main levée, avec un scalpel bien tranchant ou un rasoir. Le plus souvent, il faut mouiller la lame de l'instrument, afin que la coupe flotte dans la couche de liquide, alcool ou eau, suivant les cas. On facilite souvent l'opération en serrant la pièce entre deux lames de liége ou de moelle de sureau qu'on tranche en même temps.

Pour certains corps, comme les os, on ne peut employer utilement le rasoir ; il faut se servir de la scie d'horloger avec laquelle on détache une lamelle qu'on use ensuite, par les deux faces, sur une pierre ponce imbibée d'eau.

Enfin, il arrive le plus souvent que les tissus animaux sont trop mous pour qu'on puisse y pratiquer des coupes minces, il faut alors les durcir par différents procédés.

La *dessiccation* est un des moyens les plus anciennement employés pour augmenter la consistance des pièces. Il faut opérer rapidement, par exemple dans un courant d'air sec et chaud ou dans une étuve sèche. Il peut être très-utile de faire auparavant macérer la pièce, pendant 24 heures, dans l'alcool, ce qui la préserve de la putréfaction et hâte sa dessiccation. Les membranes soumises à cette opération doivent être régulièrement tendues sur une lame de liége avec des épingles, les nerfs fixés par deux ligatures sur un morceau de bois ; de même il faut introduire une tige de bois, comme mandrin, dans la lumière des vaisseaux dont on veut étudier les parois sans les fendre dans leur longueur pour les traiter comme des membranes.

Les coupes pourront être faites après dessiccation, entre deux

lames de liége ou de sureau, avec un instrument sec, mais il faudra ordinairement faire tremper dans l'eau les tranches minces ainsi obtenues pour pouvoir les soumettre à l'examen microscopiques.

La *congélation* est quelquefois employée. On laisse séjourner la pièce pendant un temps suffisant dans un vase plongé au milieu d'un mélange réfrigérant de glace et de sel marin. Les coupes se font avec un rasoir qu'on a refroidi dans le même mélange.

Le *durcissement*, à l'aide de certains réactifs dans lesquels on abandonne à la macération le tissu, ordinairement coupé en petits fragments, est le procédé le plus souvent employé et le plus commode.

Un grand nombre de liquides peuvent être employés comme *réactifs durcissants*, mais les plus usités sont :

L'*alcool fort* à 36° ou 40° (Cartier) dans lequel on suspend l'organe coupé en petits morceaux, pendant 12, 24 ou 48 heures. Il faut employer un volume d'alcool 15 à 20 fois plus considérable que celui de la pièce.

L'*acide chromique* à la dose de 2 à 5 p. pour 1,000 d'eau (Hannover). Il faut employer cette solution en très-grande quantité et couper l'organe en petits morceaux. L'action est très-lente et dure d'un à deux mois, surtout sur les centres nerveux, que l'on durcit ordinairement par ce procédé. Quand le degré de durcissement est convenable, on retire la pièce de la solution pour la faire tremper pendant 12 heures dans de l'eau et la conserver au besoin dans l'alcool.

Le *bichromate de potasse* en solution de 2 à 5 p. pour 100 d'eau; il agit très-lentement, mais la consistance des pièces durcies par ce procédé est souvent meilleure qu'avec l'acide chromique, parce que les organes ne deviennent pas cassants à la longue.

Le *bichromate d'ammoniaque* agit comme le bichromate de potasse et à la même dose.

Le *liquide de Müller* : Il est composé de :

Bichromate de potasse	2
Sulfate de soude	1
Eau	100

L'*acide picrique* (Ranvier) en solution *saturée* à froid.

La *gomme et l'alcool* (Brücke). On peut employer ce procédé d'emblée, mais le plus souvent on l'emploie sur des tissus dont le durcissement a été commencé par l'acide chromique ou un autre réactif. On plonge les pièces dans une dissolution sirupeuse de gomme arabique, jusqu'à ce qu'elles soient bien pénétrées, puis dans l'alcool fort, qui coagule la gomme dans les tissus. On peut ajouter quelques gouttes de glycérine à la gomme, afin qu'en séchant sur les pièces, elle ne les rende pas cassantes. Les tissus étant secs, on fait les coupes et on les fait macérer dans l'eau qui redissout la gomme.

Pour faire les coupes minces sur les pièces durcies, on peut procéder à main levée avec un rasoir mouillé soit d'eau, soit d'alcool, mais il faut souvent les soutenir en les engageant dans un morceau de liége ou de moelle de sureau, ou les coller, à la gomme glycérinée, sur un bâton de moelle ou sur un bouchon de liége. Souvent même il faut les enrober dans une matière solide, par exemple dans la stéarine ou la paraffine fondue qu'on coule autour de la pièce maintenue au centre d'un petit cylindre de carton ou de fer-blanc. On fait les coupes sur la masse entière, après solidification, et on redissout la paraffine autour de chaque coupe, à l'aide d'un peu d'essence. Pour certaines coupes, on se sert d'appareils appelés *microtomes* qui, d'une manière générale, consistent en un cylindre creux dans lequel on place la pièce, en la calant contre les parois avec de petites lames de liége ou de sureau, ou en y versant de la paraffine fondue et près de se solidifier. Le fond du cylindre peut s'élever à l'aide d'une vis micrométrique qui pousse ainsi au-dessus d'elle la pièce et son enrobage et les fait déborder, au fur et à mesure, et de quantités aussi petites que l'on veut, au-dessus de l'orifice du cylindre. — On rase les bords avec un rasoir à lame plate, mouillée, qui tranche tout ce qui dépasse. Pour guider le rasoir, l'orifice du cylindre est muni d'un large rebord plat, sur lequel on appuie l'instrument à plat.



Fig 12. — Microtome de Ranvier.

IV

FIXATION DES ÉLÉMENTS

Certains éléments histologiques s'altèrent dans leur forme pendant le cours des opérations qu'on leur fait subir pour en faciliter l'étude au microscope. Il faut alors les *fixer* aussitôt que possible, par exemple, au moment où on les sépare du corps de l'homme ou de l'animal, ou même, parfois, avant de les séparer et sur l'animal vivant. On emploie dans ce but des liquides *fixateurs*.

La plupart des réactifs durcissants peuvent être employés à cet effet avec plus ou moins de succès, mais nous devons citer surtout :

L'*alcool absolu*, qu'on fait agir pendant quelques minutes ou quelques heures.

L'*acide osmique* à 1, 2 ou 3 parties pour 100, qui agit en quelques minutes. On ne peut employer cet excellent réactif sur les préparations très-chargées de graisse parce qu'il les colore en noir intense (1).

Nous indiquerons au fur et à mesure le mode d'emploi de ces réactifs suivant les différents cas.

(1) L'acide osmique est un réactif dont l'emploi exige quelques précautions. Il est très-volatil, ses vapeurs ont une odeur très-désagréable, sont très-vénéneuses, très-irritantes et peuvent causer des ophthalmies sérieuses. On le trouve dans le commerce, sous forme de cristaux, dans de petits tubes fermés à la lampe. On brise les deux pointes du tube et on le jette dans un poids connu d'eau distillée. On déduit le poids du tube vide de celui du tube plein et l'on a le poids de l'acide cristallisé, ce qui donne le titre de la liqueur, qu'on étend avec de l'eau distillée suivant le besoin. Les dissolutions se conservent dans des flacons fermés avec de la cire à cacheter qu'on ramollit, au moment de s'en servir, avec une tige métallique. On puise une petite quantité de la solution avec une pipette et on referme le flacon avec de la cire à cacheter. On peut conserver de faibles quantités de la solution dans des flacons fermés à l'émeri pour les besoins immédiats.

V

DIFFÉRENCIATION DES ÉLÉMENTS

Les pièces étant dissociées ou réduites en tranches minces, les éléments fixés, s'il en est besoin, il est souvent utile de les soumettre à l'influence de divers réactifs qui ont pour effet de mettre en évidence certains éléments, fibres, cellules, noyaux, etc., aux dépens de certains autres sur lesquels ils n'agissent pas.

Nous avons déjà vu que les liquides dissociateurs arrivent en partie à ce résultat en dissolvant les substances interstitielles pour isoler des éléments particuliers, mais ces réactifs arrivent rarement à différencier les éléments d'une manière suffisante les uns des autres.

Pour obtenir un effet plus complet, on emploie divers liquides qui agissent en modifiant l'indice de réfraction de certaines parties et les rendent ainsi plus facilement visibles, ou bien en colorant ces parties en jaune, rouge, bleu, etc., sans colorer les autres, ou bien encore teignent les unes et les autres, mais en nuances plus accentuées ou même différentes.

Les *acides dilués*, et particulièrement l'*acide acétique*, rendent plus visibles les noyaux de cellules en modifiant leur indice de réfraction relativement à celui de la masse cellulaire. — Ils gonflent les faisceaux conjonctifs et les rendent transparents, mettant ainsi en évidence les fibres élastiques qu'ils ne modifient pas.

L'*eau d'iode* teint les fibres élastiques en jaune, colore en brun acajou la matière glycogène des cellules, etc.

Le *nitrate d'argent* en solution à 1 pour 300, lorsqu'on en arrose ou en imprègne, pendant quelques minutes, les surfaces épithéliales, endothéliales ou autres, puis qu'on expose la pièce à une lumière vive après l'avoir lavée à l'eau distillée, colore en noir la matière intercellulaire et dessine ainsi les contours des cellules par un dépôt d'albuminate d'argent.

Le *chlorure d'or* à 1 pour 200 (Cohnheim), ou le *chlorure double d'or et de potassium* (Gerlach), s'emploie comme le nitrate d'ar-

gent ; puis, la pièce imprégnée est placée dans de l'eau distillée, acidulée avec de l'acide acétique, et exposée à la lumière. Il se fait un dépôt d'or métallique, en poudre extrêmement fine, qui colore en violet, particulièrement les filets nerveux. (Réactif infidèle ou plutôt inconstant.)

Le *chlorure de palladium*, à 1 p. 1000 (F. E. Schulze), colore, au bout de 2 ou 3 jours, les fibres musculaires en brun.

L'*acide osmique* colore la matière grasse en noir-brun, plus ou moins foncé, la myéline des tubes nerveux en noir bleu et les muscles en brun.

A ces réactifs, dont nous pourrions prolonger la liste, il faut ajouter un certain nombre de matières colorantes organiques qui se combinent avec certains éléments, lorsqu'on laisse les tissus séjourner plus ou moins longtemps dans leurs dissolutions. Ces procédés de coloration dont Gerlach (1840) a eu l'initiative, en appliquant le carmin aux études micrographiques, ont pris depuis quelques années, une très-grande importance.

Pour colorer les préparations, on place les corps ou les parties dissociées, pendant quelques minutes, dans deux ou trois gouttes de la solution colorante concentrée, ou pendant quelques heures dans la solution faible, suivant la nature des coupes, les effets qu'on veut produire ou les opérations antérieures qu'ont subies les préparations.

Nous indiquerons, d'ailleurs, au fur et à mesure, le mode d'emploi et les effets de chacun de ces réactifs, et nous nous bornerons à indiquer ici le mode de préparation des plus importants.

Carmin. On broie un gramme de bon carmin dans un peu d'eau, on ajoute de l'ammoniaque jusqu'à ce que la matière soit dissoute et on délaie la solution dans environ 100 gr. d'eau. Il faut éviter d'employer un excès d'ammoniaque ; dans le cas où cet alcali serait en excès, on ferait évaporer doucement la solution jusqu'à ce que le carmin commence à se précipiter, puis on filtrerait.

Picro-carminate d'ammoniaque (Ranvier). On désigne sous

ce nom une substance qu'on obtient en mélangeant une solution ammoniacale de carmin avec une solution saturée d'acide picrique. Après évaporation au cinquième, la liqueur laisse déposer des cristaux d'un jaune rougeâtre que l'on recueille sur un filtre. Ces cristaux, dissous dans 100 fois leur poids d'eau, donnent un liquide d'un rouge groseille qu'on emploie comme la solution ammoniacale de carmin, mais avec cet avantage que l'acide picrique entrant dans sa constitution colore en jaune certains éléments et le carmin en rouge certains autres. Mais, en lavant la préparation avec de l'eau distillée, l'acide picrique se dissout et la coloration jaune disparaît. Ce réactif colorant est aujourd'hui l'un des plus employés et de ceux qui rendent le plus de services.

Rouge d'aniline ou *fuchsine*. Il y a deux matières colorantes de ce nom, l'une est de l'*acétate de rosaniline*, soluble dans l'eau ; l'autre un *sulfate*, soluble surtout dans l'alcool faible. On se sert de solutions très-étendues de ces deux substances qui ont l'inconvénient de teindre uniformement tous les éléments, mais l'avantage de colorer même les substances qui sont réfractaires à l'action du carmin.

Bleu d'aniline. Il y en a deux : le premier insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool ; le second soluble dans l'eau et l'alcool. Ces matières colorantes, qui fournissent souvent de très-bons résultats, n'ont qu'un effet éphémère et les préparations se décolorent plus ou moins rapidement.

Hématoxyline (Boehmer). C'est la matière colorante du bois de campêche. On prépare la solution avec

Hématoxyline	0.50
Alcool absolu	10

Qu'on mélange avec la liqueur suivante :

Alun	0.10
Eau distillée	30

On obtient ainsi une solution violette dont la nuance se fonce avec le temps, même dans des flacons hermétiquement bouchés. Il faut la laisser reposer au moins huit jours avant de s'en servir, et, particulièrement, attendre qu'elle ait déposé un sédiment que l'on sépare par filtration. Elle colore les préparations en bleu intense.

Purpurine (Ranvier). Extraite de la garance, la purpurine se présente sous forme d'une poudre d'un rouge brique. A l'état de dissolution alunée, elle a été appliquée avec succès, par M. Ranvier, à l'étude des cartilages et des os.

Eau distillée.	200
Alun	1

On fait bouillir et on ajoute la purpurine broyée dans un peu d'eau. On filtre à chaud et on ajoute à la liqueur filtrée 60 centimètres cubes d'alcool à 36° (centésimaux).

Éosine (Fischer). L'éosine est une matière colorante ayant quelques analogies avec la fuchsine, la rosaniline, mais brômée. On en trouve dans le commerce deux variétés, toutes deux solubles dans l'eau et dans l'alcool, donnant des solutions d'un jaune rosé, puis rouges, selon le degré de concentration, mais douées d'un dichroïsme remarquable, surtout la variété dite *bleuâtre* et en solution alcoolique. Ces liquides, rouges par transparence, sont d'un vert laiteux par réflexion et offrent à la surface une diffusion épipolique fort curieuse.

L'éosine du commerce est une combinaison d'une matière colorante brômée, la *primerose*, avec la potasse. M. E. Fischer, qui l'a introduite dans la technique histologique, conseille de la dissoudre dans l'alcool et de saturer l'alcali par l'acide chlorhydrique qui précipite la matière colorante. On la reçoit sur un filtre, la lave avec de l'eau, puis la redissout dans l'alcool.

M. Renaut a récemment employé l'éosine du commerce, c'est-à-dire le sel de potasse de l'éosine-primerose, en dissolution dans l'eau à 1 pour 100, ou dans l'alcool au tiers qui fixe en même temps les éléments.

Les préparations ainsi colorées ne peuvent pas se conserver dans la glycérine, parce que la matière colorante fuse dans cette substance; il faut employer, dans ce cas, la glycérine déjà *teintée* en rose par l'éosine, ou tenant en dissolution 1 pour 100 de chlorure de sodium.

VI

ÉCLAIRCISSEMENT DES PRÉPARATIONS

Quelque bien faite que soit la dissociation, quelque mince que soit la coupe, il arrive souvent, surtout après durcissement, que la préparation est trop opaque pour se prêter à un examen satisfaisant; il faut alors *éclaircir* la préparation.

On emploie dans ce but des liquides divers dont les uns ont la propriété de ramollir, de gonfler et de pénétrer le tissu conjonctif de manière à diminuer sa réfrangibilité. Telle est l'action des acides :

Acide chlorhydrique.

Acide acétique, etc.

D'autres substances, sans avoir une action aussi nette, agissent en s'interposant entre les éléments, de manière à empêcher les réflexions sur leurs surfaces, de telle sorte que l'indice de réfraction de la préparation entière devient à peu près uniforme dans toutes les parties de celle-ci et se rapproche sensiblement de l'indice du liquide additionnel. Il peut même arriver que la lumière se réfractant également dans toutes ses parties, la préparation devienne trop transparente parce que les éléments ne se distinguent plus les uns des autres.

Parmi les liquides additionnels qu'on emploie le plus souvent nous devons citer :

L'*eau*. C'est à tort, cependant, qu'on fait usage de l'eau et surtout de l'eau distillée, comme liquide additionnel supposé sans action chimique. L'eau, bien au contraire, a toujours un effet modificateur sur les éléments histologiques, elle dissout les uns, gonfle les autres et leur fait toujours perdre, au moins en partie, leur forme, leur aspect et leurs propriétés. Il vaut toujours mieux employer de l'eau salée avec 1 ou 2 p. 100 de chlorure de sodium, ce qui fournit un liquide plus analogue que l'eau pure au *plasma* dont sont pénétrés, à l'état normal, tous les tissus animaux.

C'est pourquoi, quand on veut observer les éléments, au-

tant que possible, tels qu'ils sont à l'état vivant, et surtout si l'on opère sur des tissus physiologiquement vivants, il faut se servir de sérosité animale :

Le *plasma* même de l'organe qu'on examine sans réaction préalable ;

Le *sérum*, soit du sérum de sang défibriné, soit de l'humeur aqueuse, soit même, quelquefois, la *salive;* enfin, l'*albumine* du blanc d'œuf fournit un très-bon liquide additionnel.

La *glycérine* constitue un des liquides additionnels les plus employés. Elle éclaircit beaucoup les préparations et a l'avantage de ne pas être volatile. M. Ranvier l'acidule avec 1 p. 100 d'acide acétique ou formique.

L'*essence de térébenthine*, l'*essence de girofles*, la *benzine* et la plupart des carbures d'hydrogènes liquides et peu colorés agissent de même. Mais, comme ces liquides ne se mêlent pas à l'eau qui baigne le plus souvent les préparations après durcissement, coloration ou imprégnation, il faut avoir soin de déshydrater celles-ci avant de les plonger dans l'essence. Pour cela on les laisse tremper d'abord dans l'alcool ordinaire, puis dans l'alcool absolu, et enfin on peut les imbiber d'essence.

Le *baume du Canada*, résine transparente de l'*Abies canadensis*, agit comme les essences. Sa consistance est demi-solide, il faut donc le ramollir par la chaleur sur une lame de verre et, avant qu'il ne s'y forme des bulles, on y plonge la préparation préalablement déshydratée par l'alcool et l'essence. On recouvre aussitôt avec la lamelle mince, en comprimant légèrement de manière à chasser les bulles d'air qui pourraient rester interposées et à diminuer l'épaisseur de la couche de baume, et on laisse refroidir en maintenant une compression ménagée à l'aide d'un petit poids qu'on dépose sur la lamelle.

On peut employer de même la *résine de Damar*.

VII

MONTAGE ET CONSERVATION DES PRÉPARATIONS

Tout le monde sait que pour soumettre les objets à l'examen microscopique, on les place sur une lame de verre dite *porte-objet* et qu'après les avoir mouillés avec une goutte du liquide additionnel dont on a fait choix, on les recouvre avec une petite lamelle de verre mince dite *couvre-objet*, en ayant soin d'emprisonner dans la préparation le moins de bulles d'air possible.

Il est commode alors, pour empêcher la lamelle de se déplacer et d'endommager la préparation, de la luter sur le couvre-objet, au moins sur deux de ses côtés opposés (et l'on choisit les bords parallèles aux longs côtés du couvre-objet). Pour cela, on essuie exactement avec du papier brouillard le liquide additionnel qui peut avoir débordé, et on lute les bords de la lamelle sur le couvre-objet avec un peu de cire à cacheter ou, plus commodément, avec un peu de paraffine que l'on prend, sur un morceau de cette substance, au bout d'une petite tige de fer chauffée dans la flamme d'une lampe à alcool.

De cette manière, la lamelle est soudée au porte-objet, mais la préparation reste ouverte par deux de ses côtés opposés, parallèles aux petits côtés du porte-objet. Le liquide additionnel peut donc s'évaporer par ces deux petites fentes, ce qui permet de le remplacer par d'autres liquides conservateurs ou réactifs.

On comprend qu'il suffit, en effet, si l'on veut faire agir, par exemple, l'acide acétique sur la préparation, d'en déposer une goutte sur le porte-objet contre l'un des bords ouverts de la préparation; si l'on applique alors contre la lamelle, au côté opposé ouvert de la préparation, un petit morceau de papier brouillard, le liquide de la préparation est aspiré, dans le papier, par capillarité, et la goutte d'acide pénètre par l'autre côté pour remplacer le liquide disparu.

C'est ainsi qu'on peut laver une préparation toute faite et faire agir tous les réactifs.

De même, en déposant une goutte de glycérine sur le bord de la lamelle et en laissant l'eau de la préparation s'évaporer peu à peu par l'autre côté, la glycérine pénètre insensiblement et transforme la préparation extemporanée en préparation durable. Il suffit alors d'essuyer avec soin, au moyen d'un papier brouillard, d'un linge très-fin légèrement humecté d'alcool ou d'un pinceau pareillement imbibé, mais exprimé, le verre qui a été mouillé de glycérine, puis de fermer les deux côtés ouverts avec de la paraffine pour clore entièrement la préparation.

En fermant ainsi une préparation faite dans l'eau, dans l'eau phéniquée ou autre liquide plus ou moins volatile, on empêchera l'évaporation et on pourra conserver très-longtemps la préparation. Il sera toujours possible de remplacer ce liquide par la glycérine pure ou formique, en enlevant la fermeture de paraffine des deux côtés opposés de la lamelle et en opérant comme nous l'avons dit plus haut pour faire pénétrer la glycérine.

Pour préserver la pièce de la compression par la lamelle, afin de ménager les éléments délicats qu'elle peut renfermer, il est souvent utile d'interposer, entre la lame et le couvre-objet, deux petites bandes de papier ordinaire ou de papier d'étain, ou bien de tracer sur le porte-objet deux petits traits parallèles avec du *bitume de Judée* dissous dans la benzine ou l'essence de térébenthine. On prend le mélange avec un pinceau fin, et on laisse sécher ces deux traits dont l'épaisseur suffit ordinairement pour préserver de la pression de la lamelle, la préparation qu'on place entre eux. On peut, d'ailleurs, donner aux traits plus d'épaisseur, en ajoutant deux ou plusieurs couches superposées de bitume de Judée.

Les liquides conservateurs dans lesquels on monte les préparations, afin de les garder pour l'étude, sont excessivement nombreux, mais avec les suivants on peut conserver à peu près toutes les préparations histologiques :

La *glycérine* pure ou la *glycérine formique*, c'est-à-dire additionnée de 1 pour 100 d'*acide formique*.

L'*eau phéniquée*, avec 1 pour 1000 d'*acide phénique* cristallisé, blanc.

La *glycérine gélatinée*, formée d'un mélange à chaud de glycérine et de *gélatine* dissoute dans une très-petite quantité d'eau chaude, est encore un liquide conservateur très-commode. Il faut ramollir le mélange,qui est devenu solide à froid, en plongeant le flacon dans un bain-marie. On en dépose, sur le porte-objet, une goutte dans laquelle on place la pièce convenablement lavée. On recouvre avec la lamelle et on laisse refroidir en comprimant avec ménagement.La matière se solidifie et l'on n'a pas besoin de border la préparation avec un lut quelconque pour maintenir la lamelle en place.

Le *baume du Canada* peut être employé de même avec des pièces lavées dans l'essence. Il donne de magnifiques préparations par le procédé que nous avons indiqué plus haut.

On emploie aussi le baume du Canada dissous dans le *chloroforme*.

La plupart du temps, on consolide les préparations durables en bordant la lamelle avec un vernis, lut ou mastic qui la soude à demeure au porte-objet. On emploie ainsi :

Le *bitume de Judée*, mêlé ou non avec partie égale de *mixtion des doreurs* et dissous dans la térébenthine ou la benzine.

La cire à cacheter dissoute dans l'alcool ; il faut employer de la cire de bonne qualité. Ce vernis est, à notre avis, le plus commode ; il est facile à préparer rapidement, moins salissant que le bitume, et a l'avantage de se mêler à la paraffine, de sorte qu'on peut l'appliquer immédiatement sur les préparations déjà fermées à la paraffine. Il faut faire la bordure assez large et la laisser sécher à l'abri des accidents.

VIII

INJECTIONS

On pratique en histologie deux espèces d'injections, les *injections interstitielles* qui ont, en général, pour but d'opérer une sorte de dissociation, et les *injections vasculaires* qui ont pour effet de mettre en évidence un réseau vasculaire sanguin ou lymphatique ou même un plexus nerveux.

Les injections interstitielles se font à l'aide d'une seringue hypodermique, munie d'une canule tranchante, et remplie d'un liquide approprié, coloré ou non. On pique la canule dans les tissus que l'on veut étudier, et l'on pousse l'injection avec plus ou moins de force, suivant l'effet qu'on veut produire. Nous en citerons plusieurs exemples.

Les injections dans les vaisseaux, dont nous ne pouvons parler ici que d'une manière très-succincte (1), se font avec des liquides colorés, à l'aide des seringues à injection que l'on trouve chez tous les fabricants d'instruments de chirurgie, ou avec des appareils particuliers par lesquels le liquide est poussé dans les vaisseaux sous la pression lente et ménagée d'une colonne de mercure (Ludwig, Hering, Ranvier), appareils dans la description desquels nous ne pouvons entrer ; mais nous devons indiquer deux des principaux liquides colorés, ou *masses à injection*, que l'on emploie pour les préparations qui doivent être examinées au microscope.

Comme, dans la plupart des cas, les pièces injectées doivent être divisées, pour l'examen, par des coupes minces, il est utile que la masse à injection soit solide pour qu'elle ne fuse pas dans les tissus lorsqu'on les divise. D'autre part, il est commode que ces masses soient transparentes plutôt qu'opaques.

C'est pourquoi les masses à injection les plus avantageuses

(1) Voir : Ch. Robin, *Traité des injections;*
Ranvier, *Traité technique d'histologie.*

sont préparées avec de la gélatine colorée en rouge par le carmin ammoniacal (aussi neutre que possible) ou en bleu par le bleu de Prusse soluble.

La gélatine est soluble dans l'eau chaude, comme on sait, et se prend en masse transparente par le refroidissement. On poussera donc l'injection avec le liquide encore chaud (vers 40° ou 45°) et on laissera la pièce se refroidir, au besoin même on la plongera dans la glace ou dans un mélange réfrigérant.

La masse au carmin se prépare avec 5 grammes de gélatine de Paris, lavée à l'eau distillée, qu'on a laissé se gonfler pendant une heure dans de l'eau distillée et qu'on fait ensuite fondre au bain-marie dans l'eau qu'elle a absorbée. Puis, on y verse une solution ammoniacale de 2 gr. 50 de carmin très-concentrée. Après quoi, on sature l'excès d'ammoniaque en versant goutte à goutte, dans la liqueur toujours chaude, une dissolution d'acide acétique cristallisable dans deux fois son poids d'eau distillée. On continue de verser la liqueur acide jusqu'au moment où l'odeur ammoniacale, très-sensible dans la masse chaude, cesse de se faire sentir. Mais il ne faut pas verser d'acide en excès, parce que le carmin se précipiterait. (Ranvier).

La masse au bleu de Prusse soluble se prépare de même avec une solution saturée de bleu, que l'on chauffe dans le même bain-marie que la gélatine, afin que les deux liquides soient à la même température. Puis on verse le bleu de Prusse dans la gélatine (25 de bleu pour 1 de gélatine), et l'on agite avec une baguette de verre jusqu'à ce que la dissolution soit complète. (Ranvier).

Le docteur Gillet de Grandmont et M. J. André ont inventé récemment d'excellents appareils pour faire les injections fines.

MANUEL D'HISTOLOGIE



PREMIÈRE PARTIE

LES TISSUS

Nous n'es aicrons pas d'établir une classification parmi les tissus animaux, nous nous bornerons à les étudier successivement dans un ordre méthodique.

Après avoir examiné les cellules en général, nous étudierons, en particulier, celles qui vivent autonomes dans l'organisme, soit indépendantes les unes des autres, dans un liquide vivant où elles puisent leurs principes nutritifs, telles que les *globules du sang* et les *cellules de la lymphe;* puis celles qui, associées entre elles et semblables, constituent les *épithéliums.*

Les tissus composés de cellules dissemblables associées pour former la charpente commune de toutes les parties du corps et de tous les organes nous occuperont ensuite : les *tissus conjonctif*, *cartilagineux*, *osseux* et *musculaire*; puis les *systèmes* où plusieurs de ces tissus composés se groupent pour exercer une fonction physiologique particulière, à l'accomplissement de laquelle concourent des organes divers chargés d'un travail spécial. Tels sont les *appareils de la circulation*, de la *respiration*, de la *digestion*, de la *reproduction*, enfin l'appareil de l'*innervation* et les *organes des sens*.

CHAPITRE PREMIER

LA CELLULE

I

COMPOSITION GÉNÉRALE DE LA CELLULE ANIMALE

Les tissus nombreux et si différents de structure, de consistance et de propriétés dont se compose le corps de l'homme et des animaux sont formés d'éléments divers dont l'étude constitue l'*Histologie*.

C'est à F.-X. Bichat que revient l'honneur d'avoir fondé l'histologie en introduisant dans la science cette notion des *éléments organiques* qui constituent tous les tissus vivants, éléments dont les uns sont particuliers à quelques-uns, les autres communs à un certain nombre de ces tissus (*Anatomie générale*, 1801).

Mais, sous un examen plus approfondi, et tel que nous le permet aujourd'hui le microscope, instrument alors grossier dont Bichat ne se servait pas et dont on peut dire qu'il eut raison de ne pas se servir, car il n'eût pu tirer de son emploi des enseignements aussi sûrs que ceux dont il eut souvent l'intuition par la seule vue de son esprit; sous un examen plus approfondi, et lorsqu'on remonte à l'état primitif de ces éléments organiques tel qu'on le trouve, par exemple, chez l'embryon, on reconnaît qu'ils dérivent d'un élément unique dont ils ne sont que des modifications ou des transformations, la *cellule*.

Après Bichat, des travaux nouveaux s'accumulèrent, aidés de moyens plus parfaits d'investigation; mais un physiologiste allemand, Schwann, eut la gloire d'interpréter les faits déjà connus et de les grouper en corps de doctrine. Après avoir, en 1839, démontré l'unité de plan qui a présidé à la formation de tous les tissus animaux et végétaux, il fit entrer l'histologie dans une voie nouvelle et féconde, en même temps qu'il créait

l'*histogénèse*, c'est-à-dire l'étude du développement et des transformations des éléments organiques. Depuis lors, la doctrine de Schwann n'est pas restée intacte dans tous ses détails, mais on peut dire que sa base, dans l'état actuel de la science, reste inattaquée et que la cellule, bien qu'autrement comprise, n'a rien perdu quant à l'importance de son rôle formateur dans les tissus des êtres organisés.

« Tout ce qui vit provient d'un œuf, » a dit Harvey ; or, cet œuf est une cellule, et c'est de cette cellule que procèdent toutes les parties constituantes de l'être issu de cet œuf ; ces parties constituantes sont elles-mêmes formées de cellules qui subissent avec le temps différentes modifications en rapport avec les fonctions qu'elles sont appelées à remplir.

La cellule, ou la forme cellulaire, joue donc ainsi, sous un certain point de vue et comme élément formateur, chez les êtres organisés, un rôle analogue à celui que remplit le cristal, ou la forme cristalline, chez les corps inorganiques. Hâtons-nous d'ajouter, toutefois, qu'entre la cellule elle-même, élément organisé, vivant, essentiellement modifiable, et le cristal, unité de forme déterminée, immuable dans chaque corps, il ne peut être fait qu'une comparaison lointaine.

Qu'est-ce que la cellule?

On désigne sous ce nom un corpuscule, primitivement sphérique ou arrondi, dont le diamètre (chez l'homme) varie de 1 à 2 centièmes de millimètre (de 10 à 20 μ), composé d'une matière albuminoïde plus ou moins dense et qu'on appelle *protoplasma* (de Mohl) ou *cytoplasma* (Kölliker), contenant à son centre un autre corpuscule appelé *noyau* ou *nucleus*, et souvent enveloppé par une membrane limitante ou *membrane cellulaire.* Enfin le noyau contient un *nucléole.*

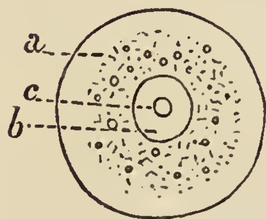


Fig. 13. — Schéma de la cellule.
a. Protoplasma enveloppé par la membrane cellulaire et contenant des granulations protoplasmiques et des gouttelettes graisseuses ; *b.* noyau ; *c.* nucléole.

Pour Schwann, toute cellule était forcément une *vésicule* ou un *utricule*, c'est-à-dire était limitée par une membrane enveloppante ; mais il est facile aujourd'hui de reconnaître que, non-seulement chez l'em-

bryon, les cellules sont dépourvues d'enveloppe membraneuse, mais que beaucoup persistent à cet état chez l'adulte; que, chez l'adulte encore, il est d'autres cellules sur lesquelles il est actuellement à peu près impossible de *démontrer* l'existence d'une membrane. Enfin, il est certain que si un grand nombre d'animaux et de plantes se composent, pour tout leur individu, d'une cellule unique enveloppée d'une membrane, il en est aussi beaucoup, et toute une classe de Rhizopodes est de ce nombre, dont la cellule n'a pas d'enveloppe.

Nous désignerons, avec Kölliker, sous le nom de *protoblastes* les cellules sans membrane, à l'état jeune, état sous lequel seul certaines paraissent se montrer pendant toute la durée de leur existence.

Telle est d'une manière générale la constitution de la cellule qu'on doit considérer comme l'*élément morphologique* essentiel formant le corps des êtres vivants (1).

De ce que nous venons de dire, il résulte donc que la cellule peut se présenter sous plusieurs formes qui ne sont que des états successifs de développement, ou que l'on peut considérer comme ayant cette signification : 1° un amas de protoplasma sans noyau ni enveloppe. (Si l'on admet ce premier degré de formation, on en trouve un exemple dans le contenu de l'œuf, lors de la disparition de la vésicule germinative, qui en est le noyau, après la fécondation et aux premiers moments de la segmentation du *vitellus*); c'est le *cytode*, de Hæckel; 2° un amas de

(1) Nous disons *élément morphologique*, mais la cellule n'est pas, comme on le voit, l'élément anatomique *dernier* qui compose le corps, puisqu'elle est elle-même composée d'un protoplasma, d'un noyau, souvent, à son état parfait, d'une membrane simple ou même multiple, et, comme nous le verrons, parfois d'un ou de plusieurs nucléoles, de vésicules et de granulations plus ou moins nombreuses, de gouttelettes de graisse, etc.. Mais ces derniers éléments microscopiques n'ont point le caractère ni le rôle de la cellule dans la formation et le développement des tissus et ne constituent pas comme elle un *tout* complet, un organisme doué de propriétés bien déterminées.

protoplasma avec noyau, sans membrane : un protoblaste ; — 3° un amas de protoplasma avec noyau et membrane enveloppante, ce qui constitue la cellule vraie et parfaite ; — 4° la cellule transformée et modifiée, telle que la fibre-cellule du tissu musculaire lisse ou strié.

Les cellules, en effet, subissent dans leur forme de nombreuses modifications dont les unes résultent d'une cause interne, la vitalité propre de la cellule, et, sans doute, la contractilité du protoplasma, le dépôt ou la formation, dans l'intérieur ou à la surface de la cellule, de matières diverses ; les autres de causes externes, telles que la pression des cellules les unes contre les autres, pression qui détermine leur déformation.

C'est ainsi que certaines cellules, les globules rouges du sang, par exemple, prennent par elles-mêmes, et en vertu de forces intérieures, la forme lenticulaire qui leur est propre, les cellules nerveuses la forme étoilée, tandis que dans les *épithéliums* stratifiés, c'est à dire composés de plusieurs couches de cellules, celles-ci prennent par la pression une forme aplatie, ou tabulaire, dans le sens de leur hauteur, ou bien une forme polyédrique telle que leur section transversale représente un assemblage d'hexagones plus ou moins réguliers ; les cellules de la couche supérieure qui ne sont comprimées que latéralement, ou celles qui forment les épithéliums à une seule couche, ont la forme conique, ou prismatique, ou pyramidale, et ressemblent assez aux alvéoles d'un gâteau d'abeilles. D'autres encore ont l'aspect fusiforme. Nous examinerons, d'ailleurs, par la suite les différentes formes que peuvent revêtir les cellules, en étudiant les tissus qu'elles composent.

Mais une notion des plus importantes est celle qui a rapport au contenu des cellules.

Le *protoplasma*, avons-nous dit, en est la partie essentielle, car on peut concevoir la cellule comme primitivement formée d'un amas de protoplasma. Ce protoplasma, ou *cytoplasma* (plasma cellulaire) est composé d'une matière albuminoïde sans structure apparente, incolore par elle-même, d'une consistance mucilagineuse, plus ou moins dense, insoluble dans l'eau mais

pouvant s'y gonfler d'une manière considérable, se coagulant après la mort de l'animal ou sous l'influence d'un abaissement de température suffisant. Cette matière albuminoïde est d'ailleurs très-complexe et composée, sans doute, d'un mélange à proportions diverses de plusieurs substances azotées au nombre desquelles paraît être la *myosine*, reconnaissable précisément à sa coagulation à une basse température; on y trouve encore des matières grasses, puis des sels minéraux en dissolution dans l'eau.

Du reste, suivant la nature de la cellule et le rôle qu'elle remplit dans l'économie, la composition de son contenu peut varier notablement. C'est ainsi que, dans certaines cellules, on voit au protoplasma primitif se joindre de la mucine, de la matière glycogène et même du sucre, des ferments spéciaux tels que la pepsine, la pancréatine, et des pigments de couleurs plus ou moins foncées, de la graisse, etc., etc., en dissolution ou en suspension dans un liquide aqueux, ou *suc cellulaire*, qui n'est point le protoplasma, mais l'accompagne souvent dans les cellules closes par une membrane.

Le protoplasma, que nous avons décrit comme un corps sans structure, n'est pas toujours homogène : il renferme souvent des *vésicules* ou des *granulations élémentaires* qui paraissent de nuance plus ou moins foncée, sous le microscope, et dont la composition est mal connue, bien qu'il soit certain qu'elles sont aussi composées de substances albuminoïdes.

La cellule, nous le répétons, est un organisme vivant, à ce point que certains êtres ne sont constitués que par une cellule, et la partie vivante de cet organisme est le protoplasma. Le protoplasma disparu, la cellule peut persister, mais elle n'est plus qu'un organisme éteint dont l'activité est épuisée, désormais incapable de s'accroître et de se multiplier. Le protoplasma manifeste, d'ailleurs, sa vitalité par une propriété particulière, sa contractilité, qui est peut-être la cause de certaines formes spéciales que prennent différentes cellules, en dehors de toute action extérieure.

Mais une partie essentielle de la cellule, celle d'où semble partir l'excitation vitale dans cette cellule, est le *noyau*. Celui-

ci est une plus petite cellule, de 4 à 10 μ de diamètre, comprise dans le protoplasma. Sa forme est arrondie, lenticulaire ou plus ou moins régulièrement allongée. Ordinairement transparent, il a quelquefois une couleur un peu plus foncée que le protoplasma ambiant. Il se comporte comme une vésicule dont la membrane limitante apparaît souvent d'une manière très-nette et accusée par un double contour. Le protoplasma qu'il contient, limpide ou légèrement jaunâtre, semble très-analogue à celui de la cellule elle-même; il est formé d'une matière albuminoïde dans laquelle non-seulement les acides minéraux, l'alcool et les réactifs qui coagulent l'albumine, mais encore l'acide acétique, et même l'eau, déterminent une sorte de précipité trouble et granuleux. La membrane qui l'enveloppe, très-analogue aussi à celle qui entoure les jeunes cellules, est formée, de même, d'une matière albuminoïde résistant plus que celle de l'enveloppe cellulaire à l'action dissolvante de l'acide acétique et des alcalis. C'est pourquoi on emploie souvent l'acide acétique pour rendre plus apparents les noyaux des cellules; il agit, en effet, en éclaircissant le plasma cellulaire tandis qu'il ratatine la membrane nucléaire et trouble le contenu du noyau.

Les cellules ne contiennent ordinairement qu'un seul noyau, cependant on en trouve souvent qui en renferment deux et quelquefois un beaucoup plus grand nombre ; — ces cellules, ainsi que nous le verrons plus loin, sont probablement en voie de multiplication.

Enfin, dans le noyau, on constate encore l'existence d'une et quelquefois de deux ou plusieurs granulations qui paraissent être des vésicules et que l'on nomme *nucléoles*. Leur diamètre échappe souvent aux procédés micrométriques, cependant ils mesurent le plus ordinairement de 2 à 3 μ, bien qu'ils puissent atteindre dans quelques cas une dimension 6 à 7 fois plus considérable, comme dans les cellules ganglionnaires, dans l'œuf (1), et dans certaines Grégarines.

(1) L'œuf a, en général, la signification d'une cellule dont la *vésicule germinative* est le noyau et la *tache germinative* le nucléole.

Il n'est pas certain, d'ailleurs, que les nucléoles soient toujours des vésicules, c'est-à-dire soient limités par une membrane d'enveloppe. Quelquefois, ils apparaissent comme une simple granulation graisseuse, mais ils se dissolvent à froid dans une solution au tiers de potasse caustique, qui n'attaque pas les gouttelettes de graisse, et, de plus, ils se colorent énergiquement dans la dissolution de carmin, qui ne teint pas les matières grasses. Enfin, dans d'autres cas, on peut observer, au centre du nucléole, une tache obscure formée par la cavité interne; il est possible même de produire sur les tissus une irritation qui détermine une augmentation du volume des nucléoles et rend ainsi la cavité ou vacuole plus grande et plus facilement visible.

Quant à la membrane des cellules elles-mêmes, lorsqu'elle existe, elle est souvent excessivement fine et son existence n'est pas toujours facile à établir d'une manière évidente ; d'autres fois, elle est assez épaisse pour se manifester par une double ligne de contour et, même, pour montrer sa texture composée de plusieurs couches superposées.

Dans les cas où elle est moins facile à apercevoir, on peut y arriver cependant par divers artifices de préparation, par exemple en rompant les cellules par la pression ou la dilacération, ce qui permet de voir la membrane rompue laissant échapper son contenu. Ce procédé réussit bien avec les grosses cellules qui constituent les ovules des vertébrés, les cellules épithéliales de l'intestin, etc. — On peut encore gonfler les cellules par l'eau : la membrane se ballonne souvent par l'absorption du liquide, tandis que le contenu est refoulé dans une partie de la vésicule, ou même s'échappe par suite de la rupture de la membrane trop gonflée, comme cela arrive sur les cellules épithéliales de l'intestin. On distingue souvent ainsi l'épaisseur de la membrane, ce qu'il faut toujours rechercher, car des cellules sans membrane, des protoblastes, peuvent se gonfler aussi par l'eau. L'action des réactifs divers qu'on peut employer dans le même but est moins certaine, car ceux-ci sont souvent de nature à coaguler la couche externe du protoplasma, et, par conséquent, à y créer une membrane qui n'existait pas. Lorsqu'on emploie ainsi l'acide acétique, l'acide chro-

mique ou autres réactifs analogues, et que ceux-ci font apparaître une membrane autour de la cellule, il faut donc examiner les résultats obtenus avec la plus grande attention, avant de conclure à l'existence d'une membrane qui peut n'être due qu'à l'effet du réactif.

La coloration par l'acide picrique, le picro-carminate d'ammoniaque, l'imprégnation par le nitrate d'argent, qui font si bien apparaître les détails des cellules sont l'objet d'observations analogues.

D'ailleurs, ces réactifs, en rendant visible ou en formant une couche plus dense à la surface de la cellule, alors même que celle-ci n'est pas limitée par une véritable membrane, traduisent souvent à l'œil ce qui existe réellement ; c'est-à-dire que le protoplasma est souvent condensé, épaissi à la surface où il constitue comme une couche corticale plus ou moins distincte de la matière sous-jacente. Et entre cette couche corticale et une membrane véritable, on ne sait guère, en réalité, où est la limite ; d'autant plus qu'en somme, c'est par la condensation du protoplasma à la surface, ou la sécrétion, l'exsudation, produite par ce protoplasma, d'une substance plus dense sur le contour de la cellule, que nous pouvons expliquer la formation d'une membrane autour d'un protoblaste, primitivement constitué par un amas de protoplasma *nu* enveloppant un noyau.

Toutefois, la substance qui constitue la membrane cellulaire, de nature albuminoïde, soluble dans l'acide acétique et dans les alcalis étendus quand la cellule est jeune, devient plus tard insoluble et revêt, aussi bien d'ailleurs que la membrane du noyau, les caractères de la substance élastique du tissu conjonctif ; Donders considérait l'une et l'autre comme formées d'*élastine*. Cependant, les noyaux se dissolvent plus facilement dans la potasse que ne le fait d'ordinaire la substance élastique.

Enfin, la membrane des cellules présente souvent des *pores* ou *canaux poreux*, tels que le micropyle de certains œufs, particulièrement des œufs d'insectes, et ceux par lesquels sortent les prolongements mobiles du protoplasma dans les cellules vibratiles.

II

MULTIPLICATION DES CELLULES

Les cellules se multiplient par la subdivision de chacune d'elles en deux nouvelles cellules. Tel est le procédé général de multiplication, mais il s'accompagne de circonstances un peu différentes, suivant qu'il s'agit d'une cellule sans membrane ou enveloppée d'une membrane mince, ou bien d'une cellule munie d'un membrane épaisse.

Dans les cellules sans membrane ou limitées par une membrane mince, il y a bipartition de la cellule. Le phénomène est complexe dans ses détails, mais peut être considéré comme se produisant de la manière suivante : le nucléole se divise en deux parties qui s'éloignent l'une de l'autre, et le noyau, s'allongeant sensiblement, s'étrangle vers le milieu de sa longueur, puis se divise en deux segments distincts, au centre de chacun desquels est un nucléole. C'est ainsi qu'on observe des cellules dont le noyau contient deux nucléoles, et d'autres qui présentent deux noyaux, munis chacun d'un nucléole. — Bientôt, les deux noyaux s'éloignent l'un de l'autre et le protoplasma environnant se groupe par moitié autour de chaque noyau, formant ainsi une cellule étranglée en son milieu. Si la cellule est munie d'une membrane mince, celle-ci suit le mouvement du protoplasma, et peu à peu, les deux demi-cellules, s'éloignant l'une de l'autre, le pédoncule qui les unit devenant de plus en plus mince, finissent par se séparer, et deux cellules sont ainsi engendrées par la première. On peut constater ce phénomène sur les globules blancs du sang des vertébrés et sur les globules rouges du sang des embryons chez les mêmes animaux (1). On se procure aisément des embryons de poulet

(1) Particulièrement chez les mammifères et les oiseaux ; on emploie le sang des embryons, parce que les globules rouges ont encore des noyaux, dans ce cas, tandis qu'ils n'en ont plus chez les mêmes animaux complétement développés.

dans le sang desquels on constate l'existence de globules rouges à tous les états successifs de division que nous venons de signaler.

Lorsque les cellules, comme celles de cartilage, par exemple, sont enveloppées par une membrane assez épaisse, la subdivision se produit de la même manière, mais la membrane enveloppante ne suit pas le mouvement de scission du protoplasma autour des deux noyaux formés. Les deux cellules se forment; chacune s'entoure, même, d'une membrane plus ou moins mince, mais elles restent l'une et l'autre enfermées dans la membrane primitive de la *cellule-mère*, membrane qui prend alors le nom de *capsule*. Les *cellules-filles* ainsi formées peuvent se segmenter à leur tour par le même procédé, et les cellules de nouvelle génération qui en résulteront, s'enveloppant chacune d'une membrane, resteront encore enfermées dans la membrane de leur cellule-mère, et ainsi de suite. De sorte qu'on observera une série de générations de cellules enveloppées

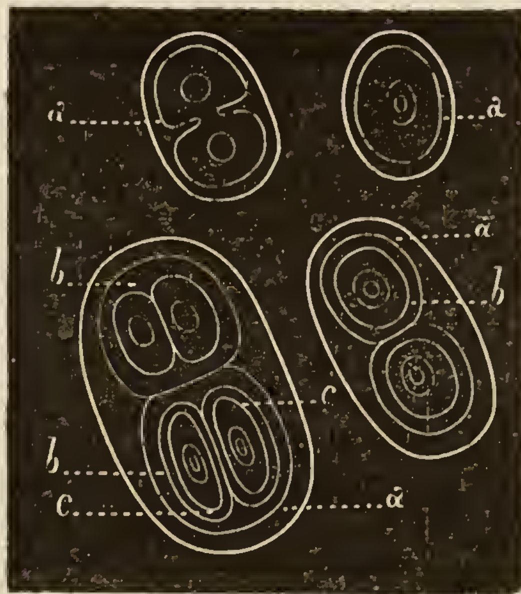


Fig. 14. — Multiplication des cellules de cartilage (Schéma).
Dans la première figure, la cellule est simple avec son épaisse capsule *a*, son noyau et son nucléole; dans la seconde, le noyau s'est dédoublé, les nucléoles ont disparu et le protoplasma s'étrangle; dans la troisième les deux cellules sont complètes et enveloppées chacune d'une nouvelle capsule *b*; dans la quatrième, la cellule supérieure est en voie de division, mais l'inférieure est dédoublée en deux cellules complètes avec de nouvelles capsules *c*.

par une suite de *capsules primaires*, *secondaires*, *tertiaires*, en nombre égal à celui des générations de cellules. C'est là le mode de multiplication le plus compliqué; on l'observe sur les cellules de cartilage, où les capsules de plus ancienne formation finissent par se fondre dans la *masse fondamentale* ou matière *intercellulaire*, au sein de laquelle sont disséminés les groupes de cellules résultant de la segmentation d'une cellule cartilagineuse primitive.

Ce mode de formation de nouvelles cellules dans l'intérieur d'une cellule-mère, qu'on appelle *formation endogène*, n'est pas toujours aussi compliqué. Les cellules-filles restent bien enveloppées dans la membrane de la cellule primitive, elles s'entourent bien encore chacune d'une membrane, mais celle-ci, plus ou moins mince, suit le mouvement de scission des cellules-filles qui ne demeurent pas enfermées deux à deux dans la membrane enveloppante de la cellule qui les a formées. En un mot, le noyau et le protoplasma se divisent en deux cellules, qui s'entourent ou non d'une membrane; chacune d'elles se divise encore en deux autres, closes ou protoblastes, et ainsi de suite, de sorte que le contenu de la cellule primitive se segmente purement et simplement en 2, 4, 8, 16, etc

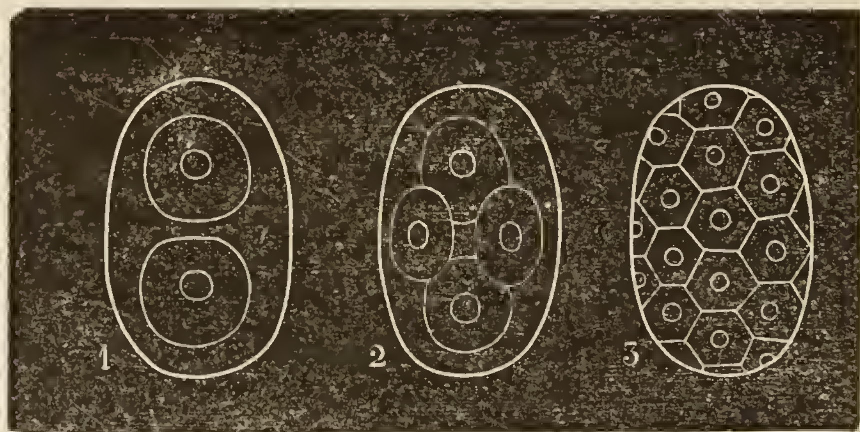


Fig. 15. — Segmentation endogène des cellules.
1. — 2me génération, 2 cellules; — 2. 3me génération, 4 cellules; — 3. 5me génération, 16 cellules.

cellules qui restent indépendantes les unes des autres dans l'intérieur de la membrane primitive. On peut observer cette

segmentation dans l'ovule où elle forme le premier indice de développement de l'embryon.

Dans ce cas, on appelle plus particulièrement les cellules, *sphères* ou *boules de segmentation*.

Dans certains œufs, toutefois, par exemple dans ceux des oiseaux, des poissons, etc., le contenu tout entier de la cellule de l'œuf, le *vitellus*, ne prend pas part à la segmentation qui n'est pas complète, mais seulement partielle; une partie de ce vitellus reste sans développement et même disparaît peu à peu, en fournissant ses éléments à la nutrition de la portion qui s'est segmentée pour former l'embryon (1).

Une forme particulière de la division des cellules est celle qu'on désigne sous le nom de multiplication *par bourgeonnement*. Dans ce cas encore, une partie du protoplasma survit ordinairement à la subdivision. Le nucléole se divise en un plus ou moins grand nombre de segments autour desquels le noyau pousse autant de prolongements, mamelons, stolons ou bourgeons, qui bientôt s'étranglent à leur base d'insertion sur le noyau, puis se séparent, devenant ainsi le centre de formation d'autant de nouvelles *cellules-sœurs*, c'est-à-dire de même génération, ou, comme on dit, *contemporaines*. Ce phénomène, observé par Kölliker, dans les cellules de la rate du chat, par Virchow, dans celles d'un cancer mélanique, est sans doute moins rare qu'on ne l'a cru d'abord, car il a été constaté, par R. Hardwig, dans certains Infusoires Acinètes, chez lesquels il constitue un mode régulier de multiplication; par Ranvier, dans les globules de la lymphe de divers Batraciens ; et l'on trouve des cellules à noyau bourgeonnant, dans les canaux de Malpighi, ainsi que dans les tubes soyeux des larves de Lépidoptères. De plus, la connaissance de ce fait peut expliquer comment on rencontre parfois des cellules-mères contenant des cellules-filles et un noyau persistant ; c'est ce noyau, sans doute, qui a bourgeonné et formé les noyaux des cellules-

(1) On appelle ces œufs *méroblastes*, par opposition à ceux dans lesquels le vitellus tout entier prend part à la formation de l'embryon et qu'on appelle *holoblastes* (œufs des mammifères).

filles. Peut-être, aussi, doit-on rattacher à ce phénomène l'existence de certaines cellules à noyaux très-nombreux, comme en a découvert Ch. Robin, dans la moelle des os. Remak a d'ailleurs observé, sur les globules du sang de grenouille, que certaines cellules, au lieu de se diviser en deux, semblent se fractionner d'emblée en trois, quatre, six cellules nouvelles.

En résumé, les cellules paraissent se multiplier, au moins dans le plus grand nombre des cas, chez les animaux comme chez les végétaux (1), par la subdivision d'une cellule préexistante et dont la formation remonte en dernière analyse aux sphères de segmentation du vitellus de l'œuf. Telle est la doctrine de Remak, de Virchow, de Kölliker, telle qu'elle est admise aujourd'hui par la plupart des histologistes, bien que certains défendent encore la théorie de la *formation libre des cellules*, à peu de choses près telle que l'avait établie Schwann. Pour Schwann, en effet, l'élément formateur primordial était un liquide, un *cytoblastème*, dans lequel il supposait que des nucléoles se formaient librement, par un mode particulier d'organisation ou de condensation du cytoblastème environnant qui, bientôt, se concentrait autour de chaque nucléole pour former autant de noyaux. Ceux-ci, encore libres au sein du liquide, devenaient des centres d'attraction, autour de chacun desquels se groupait un amas de cytoblastème condensé, constituant le protoplasma d'autant de cellules nouvelles qui s'enveloppaient d'une membrane et se formaient ainsi librement les unes à côté des autres, mais sans procéder les unes des autres. Cette théorie, en effet, était attrayante, mais outre que la formation des cellules par scission est démontrée dans le plus grand nombre des cas, aussi bien dans le règne animal que dans le règne végétal où l'observateur peut la voir s'effectuer sous ses yeux (2), les faits particuliers, sur lesquels repose encore la

(1) Schleiden avait constaté la multiplication des cellules végétales par voie de bipartition avant qu'on l'eût constatée chez les animaux.

(2) On peut assister, sur les Conferves, *Spirogyra*, *Zygnema* et autres Algues filamenteuses, à la division des cellules, qui se fait d'ordinaire la

doctrine de la formation libre, deviennent de plus en plus rares. Tandis qu'on trouve fréquemment des cellules-mères contenant des cellules-filles, on ne rencontre que rarement des noyaux libres ; et grâce aux délicats procédés de coloration et d'imprégnation que le micrographe possède aujourd'hui, on arrive souvent à reconnaître que les noyaux qu'on avait crus libres occupent, au contraire, l'intérieur de cellules dont le

nuit, mais qu'il est facile de retarder jusqu'au jour en refroidissant la plante à + 5°.

M. Strasbürger a récemment repris l'étude de ce phénomène, connu depuis Schleiden, et a fait sur le mécanisme de la division des cellules végétales des observations d'autant plus remarquables que, peu après, M. Bütschli (1876), reprenant l'étude de la division des cellules animales faite par Remak, sur les globules du sang de l'embryon de poulet, a observé un mécanisme absolument semblable.

M. Strasbürger a remarqué que, dans la cellule végétale qui va se diviser, le nucléole disparaît, la matière du noyau semble se polariser et se retirer vers les deux extrémités de ce noyau qui s'allonge. Elle forme alors deux petites masses réfringentes, que relient, l'une à l'autre, comme deux étoiles, une série de filaments; c'est le commencement de la division du noyau (2, *fig.* 16). Puis, au milieu de ces filaments, à égale distance des deux masses nucléaires, il se forme des granulations fusiformes situées sur un même plan transversal et constituant une sorte de disque sur l'équateur de la cellule, tantôt séparées, tantôt réunies réellement en une véritable plaque. Celle-ci se subdivise bientôt en deux feuillets ou en deux séries parallèles de granulations qui s'écoulent le long des filaments et vont remonter dans les deux amas nucléaires dans lesquels elles s'absorbent pour en augmenter la masse. Mais bientôt il se forme une nouvelle plaque qui va se subdiviser de même en deux feuillets, entre lesquels est sécrétée une couche de cellulose (1, *fig.* 16). D'autre part, il se développe sur la paroi de la cellule, au niveau du disque cellulaire, un bourrelet qui secrète une bande de cellulose, laquelle va à la rencontre de la plaque, et lorsque les deux éléments se sont ainsi rejoints sur toute la périphérie

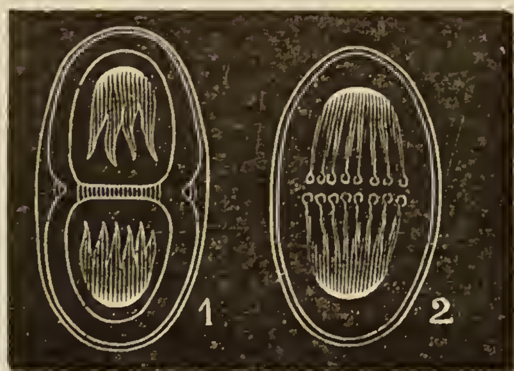


Fig. 16 — Division des cellules végétales.

contour était jusqu'ici resté inaperçu. Et quant à ceux que l'on admet comme noyaux libres, au lieu d'être des cellules qui commencent, il est infiniment plus probable qu'ils ne sont que les débris de cellules détruites ; car les cellules, comme tout ce qui vit, sont essentiellement périssables, et tandis que, d'une part, elles se multiplient et se renouvellent, de l'autre, elles se détruisent incessamment.

du disque, la cellule primitive se trouve séparée en deux, les filaments qui rayonnent des noyaux se rompent et se résorbent, les noyaux eux-mêmes se régularisent ; plus tard, un nucléole paraît au milieu de chacun d'eux et l'on a deux cellules complètes.

Dans les Algues filamenteuses, il ne se produit pas de cloison de cellulose dans le disque produit par les granulations des filaments nucléaires, la cloison tout entière est fournie par la sécrétion du bourrelet formé sur la paroi de la cellule primitive. On peut facilement suivre ce phénomène sur tous les *Spirogyra*, où nous l'avions observé dès 1875, sans avoir publié nos observations, pensant, à tort, que tous ces faits étaient connus. On peut surprendre les cellules à tous les degrés de subdivision en les plongeant pendant la nuit, c'est-à-dire pendant la multiplication, dans de l'alcool qui les fixe à l'état où elles se trouvent en ce moment.

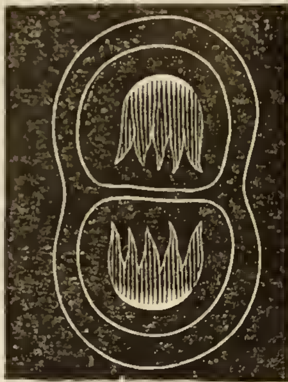


Fig. 17.—Division des globules de sang (Embryon de poulet).

Quant à la division des cellules animales, c'est Remak qui l'a observée, le premier, sur les globules du sang dans l'embryon de poulet; M. Bütschli, qui a repris ces observations, ainsi que nous l'avons dit, a reconnu qu'après la disparition du nucléole, le noyau se sépare en deux masses qui s'éloignent l'une de l'autre, retenues seulement par des filaments sur lesquels, au niveau de l'équateur de la cellule, apparaît un rang de granulations réfringentes. Celles-ci deviennent fusiformes, puis constituent une sorte de plaque qui se divise en deux feuillets. La matière qui compose ces deux feuillets remonte le long des filaments vers la masse nucléaire correspondante. Puis, les filamants se rompent, le protoplasma se groupe autour de chaque noyau, la cellule s'étrangle au milieu et bientôt se sépare en deux cellules dont chacune a son noyau (*fig.* 17). Celui-ci se régularise, les débris des filaments se résorbent et le nucléole apparaît dans chaque noyau. Il se forme quelquefois entre les deux feuilles de la plaque de séparation une sorte de disque rudimentaire, qui semble correspondre à la couche de cellulose dont se composera le centre de la cloison intercellulaire dans les végétaux, mais ce disque disparaît bientôt.

III

VIE ET FONCTIONS DES CELLULES

La cellule étant un organisme vivant, exerce un certain nombre de fonctions végétatives et animales. Nous avons vu comment elle se multiplie ; mais, de plus, elle est soumise à un accroissement plus ou moins considérable et très-différent, suivant la nature des tissus dont elle fait partie. Aussi, constate-t-on que les cellules jeunes sont plus petites que celles de formation plus ancienne. C'est en prenant leur accroissement qu'elles revêtent diverses formes que nous avons déjà signalées brièvement. En se comprimant les unes contre les autres, également dans tous les sens, elles deviennent polyédriques; mais elles peuvent changer de forme par accroissement inégal, par exemple, dans deux sens opposés, et, alors, elles deviendront fusiformes et s'allongeront souvent d'une manière

M. Bütschli a opéré sur du sang de poulet au bout de trois ou quatre jours d'incubation, en le traitant par l'acide azotique au centième.

M. Balbiani a fait, plus récemment encore, des observations semblables sur les cellules épithéliales de l'ovaire, chez la larve d'une sauterelle, le *Stenobothrus pratorum*, et il a recueilli des données sur le nucléole dont MM. Strasbürger et Bütschli ont admis la pure et simple dissolution. Ces cellules contiennent, en guise de nucléole, une série de bâtonnets parallèles dont chacun a, sous un fort grossissement, l'aspect d'un chapelet de granules, comme des bactéries. Au moment où la scission se prépare, les bâtonnets se contournent, s'embrouillent, semblent entrer en coalescence; mais bientôt ils reparaissent, épaissis, convergents aux deux pôles du noyau, formant ainsi deux cônes dentelés réunis l'un à l'autre par des filaments provenant évidemment de l'effilement de chaque bâtonnet à son milieu. Puis ces deux cônes s'arrondissent à leur sommet et prennent l'aspect de deux dômes frangés qui s'éloignent de plus en plus, l'un de l'autre, pendant que la cellule commence à s'étrangler au milieu. Puis les filaments se rompent, les noyaux se régularisent par la fusion de leurs éléments, le protoplasma environnant se groupe autour de chacun d'eux, et la cellule, qui s'étrangle de plus en plus, finit par se diviser (*fig.* 17).

Ainsi, les filaments qui réunissent les deux fragments du noyau, paraissent provenir du nucléole qui ne se dissout pas, mais s'organise d'une manière nouvelle.

considérable comme les fibres-cellules du tissu musculaire ; ou bien encore, l'accroissement se faisant par parties diversement distribuées sur la surface des cellules, elles prendront la forme étoilée, multipolaire, comme les cellules ganglionnaires. D'autres fois, elles deviendront absolument plates et lamelleuses.



Fig. 18. — Fibre-cellule musculaire de l'homme.



Fig. 19. — Cellule conjonctive.



Fig. 20. — Cellule pigmentaire.

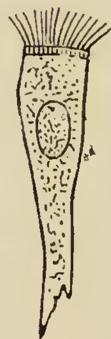


Fig. 21. — Cellule vibratile.

En général, plus le tissu dont elles font partie sera le siége d'une nutrition active, plus les cellules prendront d'accroissement.

Dans ce phénomène, non-seulement le corps cellulaire se développe, ainsi que la membrane, s'il en existe une, (laquelle peut s'épaissir et devenir le siége de dépôts internes ou externes), mais le noyau et le nucléole subissent aussi un accroissement qui n'est pas toujours proportionnel à celui de la cellule elle-même. Le noyau éprouve, en général, une augmentation de volume moins importante et surtout une déformation moins complète. Cependant, le noyau de certaines cellules très-allongées, comme les fibres musculaires lisses, s'allonge aussi jusqu'à prendre la forme d'un court bâtonnet. La membrane qui le délimite devient souvent aussi plus apparente, et le noyau se manifeste plus nettement comme une vésicule. Quant au

nucléole, il s'accroît, mais il se déforme plus rarement et conserve ordinairement son aspect à peu près sphérique.

Les cellules vivent, avons-nous dit, elles exercent des fonctions nombreuses, et, si nous descendons aux animaux qui ne se composent que d'une cellule, nous voyons cette cellule unique exercer toutes les fonctions essentielles de l'animalité, absorption, nutrition, reproduction, contraction et même motilité, sensibilité ; on peut penser, même, qu'elle est douée d'instinct, car elle s'écarte des obstacles, choisit les particules qu'elle veut absorber, rejette celles qui ne lui conviennent pas. Ainsi, aux degrés inférieurs de l'échelle des êtres, la cellule jouit d'un ensemble de propriétés vitales; mais, à mesure que l'on remonte vers les organismes supérieurs, les cellules, qui ne sont plus isolées, mais associées pour former les tissus divers composant ces organismes, se différencient de plus en plus, et, souvent, en changeant de forme et d'aspect. Elles retiennent alors certaines de ces propriétés qui acquièrent une importance de plus en plus grande, aux dépens de certaines autres qu'elles perdent plus ou moins. Elles fournissent toujours ainsi la même somme de travail et concourent à la localisation des fonctions, localisation qui s'affirme de plus en plus, à mesure qu'on s'élève dans la série des êtres.

Parmi les fonctions que toutes les cellules conservent, figure d'abord la nutrition. Les cellules s'accroissent, nous l'avons vu, par absorption des éléments contenus dans les liquides avec lesquels elles sont en contact continuel. Entre ces liquides et les cellules qu'ils baignent, s'opère un continuel échange de principes, en vertu duquel les éléments constitutifs de la cellule absorbent et fixent quelques-uns des principes qui leur sont fournis, principes qu'ils assimilent, en rendant aux liquides ambiants les parties désassimilées. De cet échange résulte une remarquable fixité dans la composition de chaque cellule, fixité que l'on peut mettre en évidence, en plongeant dans une solution de carmin un tissu encore vivant. Tant que la vie persiste dans les cellules, celles-ci ne se laissent pas pénétrer par la matière colorante, ou plutôt ne contractent avec elle aucune combinaison ; c'est seulement quand elles sont

mortes, que le carmin fait, pour ainsi dire, invasion dans les cellules et se combine avec les substances qui les composent, notamment avec la matière du noyau qu'il colore aussitôt en rouge.

L'oxygène est un des principes dont l'action sur les cellules, par l'intermédiaire des liquides de l'économie, est la plus importante; et nous verrons que certaines cellules, mobiles dans un plasma, ont un tel besoin de se mettre en rapport avec ce gaz que, celui-ci venant à leur manquer, elles se mettent en mouvement pour aller le chercher. Telles sont les cellules lymphatiques, ainsi que l'a démontré M. Ranvier. La respiration est donc une fonction qui appartient aux cellules, et tous les tissus qui manifestent une grande activité vitale ont une structure telle que les échanges entre les principes immédiats organiques, les sels minéraux et les gaz dissous dans les liquides plasmatiques, d'une part, et les éléments des cellules, de l'autre, acquièrent leur maximum d'intensité.

Les cellules absorbent non-seulement pour assimiler certains principes destinés à remplacer dans leur organisation ceux qui sont désassimilés et qu'elles rendent sous forme de créatine, de créatinine, etc. ; mais aussi pour extraire des liquides ambiants des matières dissoutes, minérales ou organiques, soit pour les rendre telles quelles après cette sorte de filtration (comme font les cellules épithéliales des tubes urinifères, qui extraient du sang les matériaux de l'urine), soit pour les combiner différemment et en préparer de nouveaux produits, produits de sécrétion, comme font toutes les cellules glandulaires, cellules à pepsine, à pancréatine, à suc gastrique, etc.

Le produit de l'élaboration des cellules est quelquefois solide, telles sont les substances intercellulaires, les couches de revêtement qui s'accumulent à la surface extérieure de certaines cellules, ces formations dites *cuticulaires*, comme la capsule du cristallin, l'émail des dents, et ces villosités, filaments, plaques, écailles, dont on trouve de si fréquents exemples, chez tous les animaux.

Ainsi, les cellules absorbent, assimilent pour rendre des produits désassimilés, ou bien excréter des produits non trans-

formés, ou bien encore sécréter des produits qu'elles ont fabriqués.

Par quel mécanisme s'accomplit ce travail? On ne peut à ce sujet faire que des hypothèses, mais il est certain que l'imbibition, l'osmose, la pression des liquides intérieurs et extérieurs doivent jouer un rôle dans ce phénomène complexe; enfin, l'influence nerveuse, car en excitant tel nerf on active la sécrétion de la glande que ce nerf anime, et le souvenir de certaines substances sapides suffit pour exciter la sécrétion des glandes salivaires.

La contractilité qui appartient à la cellule unique dont se compose le corps des Monères, des Amibes, des Rhizopodes et des Infusoires, qui constitue la propriété la plus saillante des cellules transformées en fibres musculaires, a été constatée, il y a déjà longtemps, sur diverses autres cellules appartenant aux tissus les plus divers pris même chez les animaux supérieurs, par exemple sur les cellules lymphatiques des vertébrés (Wharton Jones), sur les cellules pigmentaires des Batraciens etc.; à ce point qu'aujourd'hui les histologistes sont portés à reconnaître la contractilité comme une des propriétés essentielles des cellules, ce qui ne signifie pas qu'elles en jouissent toutes et toujours, mais qu'elles ont pu toutes en jouir à un certain moment de leur développement (1).

Quand on examine de près ce phénomène, on arrive à constater que c'est au protoplasma cellulaire seul, cette substance qu'on s'accorde à regarder comme la partie essentiellement vivante de la cellule, qu'appartient la propriété contractile. Il est certain que chez les Monères, animaux monocellulaires, sortes d'Amibes, dont la cellule n'est qu'un cytode ou un amas de protoplasma sans enveloppe et sans noyau, ce protoplasma qui compose l'être tout entier est contractile, à ce point que l'animal se meut, amibiforme, en envoyant des

(1) Des phénomènes de mouvement *intra*-cellulaire ont été, depuis longtemps aussi, constatés sur les cellules végétales (*Chara*, *Tradescantia*, *Chelidonium*, etc., etc.); et tous les jours les botanistes en signalent de nouveaux exemples. (Voir J. Pelletan, *Le Microscope, son emploi et ses applications*, p. 327.)

expansions ou prolongements de sa substance, par tous les points de sa surface. Dans les cellules contractiles limitées par une membrane enveloppante plus ou moins épaisse, il paraît évident que la membrane reste invariable dans son contour, tandis que le protoplasma subit dans son intérieur des déformations diverses. Enfin, les cils vibratiles dont sont munies les cellules qui forment certains épithéliums, tels que celui des voies aériennes chez les vertébrés, le manteau des Mollusques, etc., cils qui sont en perpétuel mouvement, ne sont que des prolongements, des émanations du protoplasma intérieur de ces cellules.

On doit attribuer aussi au noyau une grande importance dans les phénomènes vitaux dont la cellule est le siége, puisque nous l'avons vu déterminer, par sa scission préalable, ou par son bourgeonnement, la multiplication des cellules par division; sa disparition est le signal de la destruction de la cellule, et il paraît agir comme un organe excitateur des phénomènes intra-cellulaires. Il peut manifester aussi, dans certains cas, une contractilité remarquable. Du reste, le fait de la scission du noyau, de son bourgeonnement, implique la contractilité de cet élément.

Dans le nucléole lui-même, on a signalé, dans ces dernières années, des mouvements de diverses natures. Balbiani, le premier, en 1865, a observé ces mouvements dans la tache germinative des œufs de beaucoup d'invertébrés, d'abord des Araignées *Phalangides* (Faucheurs), puis des Myriapodes, des Mollusques et des Annélides Turbellariées. C'est ainsi que, dans beaucoup d'Araignées, le nucléole de l'ovule est doué de mouvements de totalité, d'aspect amiboïde, comme ceux du protoplasma, et dans d'autres cas, la vacuole ou les vacuoles contenues dans l'intérieur du nucléole jouissent de mouvements de contraction des plus remarquables. Ces vacuoles, ou vésicules intérieures des nucléoles, ont d'abord été prises pour des granulations denses qu'on avait même appelées *nucléolules*.

Les mouvements de totalité du nucléole, mouvements amiboïdes, sont faciles à observer sur les œufs extraits des ovaires

de l'Araignée des jardins, l'*Epeira diadema*, des Clubiones, des Saltiques, des Lycoses (1).

Les mouvements de contraction du nucléole sont plus intéressants encore en ce qu'ils rappellent complétement ceux de la vésicule contractile des Infusoires. Dans les *Phalangium*, la tache germinative, ou nucléole de l'ovule, renferme des vacuoles qui se déplacent dans la masse, et dont on peut suivre les déplacements, s'élevant parfois du centre vers la périphérie et venant, crever comme de grosses bulles, à la surface. (Balbiani) (2).

Enfin, une dernière propriété appartient aux cellules animales, c'est la *névrilité* dont la première manifestation est la *sensibilité* et qui engendre à un degré supérieur la *volonté*, puis, à un degré plus élevé encore, la *pensée*. Confuse et souvent même méconnaissable chez les êtres inférieurs et monocellulaires, elle devient de plus en plus distincte à mesure qu'on s'élève dans la série animale, se différencie, pour ainsi dire, selon les trois ordres de phénomènes psychiques que nous venons d'énumérer. En même temps, elle se localise dans des cellules particulières dont les unes souffrent et

(1) Il faut examiner les œufs ovariens dans leur propre plasma, sans liquide additionnel, et opérer sur des ovules qui ont déjà acquis un certain volume, 1 à 2 dixièmes de millim ,mais ne pas attendre qu'ils soient trop avancés.

(2) M Balbiani a même découvert, dans l'ovule du *Geophilus longicornis*, une sorte de canal qui, partant du noyau, paraît s'ouvrir à la surface du vitellus. Le nucléole semble une grande vésicule qui se contracte irrégulièrement dans l'intervalle de quelques minutes ou de quelques heures, vésicule qui paraît contenir un liquide et des granulations. De cette vésicule part un canal intérieur au canal du noyau, dans lequel les granulations du nucléole sont poussées à chaque contraction de ce dernier. L'élément nucléolaire semble donc avoir une importance bien plus grande qu'on ne le croyait jusqu'ici; Balbiani, qui a fait sur cette question d'importants travaux (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, 1865), tout en reconnaissant que les faits sont trop peu nombreux pour qu'on en puisse conclure rien de général, admet que le nucléole joue un rôle important dans les phénomènes de nutrition de la cellule et le compare à un véritable cœur. Il est, d'ailleurs, évident que le noyau est un organe de nutrition.

jouissent, les autres veulent et commandent, les autres encore savent et pensent.

En résumé, la cellule est un organite vivant, c'est-à-dire jouissant de ces propriétés qu'on s'accorde à appeler propriétés vitales : par un mécanisme dans lequel l'endosmose paraît jouer un rôle prépondérant, elle absorbe les matériaux organiques contenus dans le milieu liquide, avec lequel elle se trouve toujours en contact, contact immédiat si elle constitue à elle seule un être tout entier (et dans ce cas, ce milieu est l'eau) (1), contact souvent médiat si elle vit en agrégation avec d'autres cellules semblables pour constituer un tissu vivant (et alors le milieu est un plasma). Grâce à cette absorption, elle se nourrit, c'est-à-dire assimile certains éléments qu'elle élabore, transforme, emmagasine ou rejette par exosmose, sans doute, soit sans les avoir modifiés, soit après élaboration et sous forme de sécrétion. En même temps, elle rejette, en échange et par le même mécanisme, les principes désassimilés, produits de son usure fonctionnelle. Tant que l'assimilation l'emporte sur la désassimilation, la cellule s'accroît, soit régulièrement dans tous les sens, soit dans des directions particulières et diverses, avec des transformations qui peuvent modifier sa forme jusqu'à la rendre méconnaissable en tant que cellule. Puis, la désassimilation devenant prépondérante, elle s'affaiblit peu à peu et s'éteint. L'un des éléments les plus importants de sa nutrition est l'oxygène, à l'action duquel les tissus sont disposés de manière à offrir le plus de surface possible et d'autant plus que leur activité fonctionnelle doit être plus grande. Elle respire donc, et subit ainsi de la part du grand agent cosmique, l'oxygène de l'air, une combustion lente en vertu de laquelle elle exhale de l'acide carbonique et de l'eau, pendant que, dans toute une classe d'animaux, sa température s'élève par production de chaleur animale. C'est ainsi que, par

(1) Tous les êtres monocellulaires sont aquatiques, et les cellules faisant partie d'un tissu d'un animal polycellulaire puisent leurs matériaux nutritifs soit directement, soit par l'intermédiaire des cellules voisines, dans le liquide, déjà animal et vivant, qui les baigne, plasma musculaire, sanguin, lymphatique, etc.

le jeu des affinités chimiques de ses éléments constituants, elle domine le milieu ambiant avec lequel elle lutte pour maintenir son entité, sans se mettre avec lui en équilibre, ni de composition, ni de température.

En même temps qu'elle travaille à sa conservation, elle se reproduit et se multiplie, comme tous les êtres vivants. De plus, elle manifeste son activité par des mouvements divers et même, si elle est libre et indépendante, par des déplacements de totalité qui lui permettent de chercher les milieux les plus favorables à son existence et à son développement.

Jusque-là aucune différence essentielle n'existe entre le règne végétal et le règne animal, sauf dans la composition des éléments constituants et dans la nature des nutriments : la cellule végétale absorbant des éléments inorganiques, eau, acide carbonique, azote ou ammoniaque, sels minéraux, pour en faire de la matière organique plus complexe; la cellule animale absorbant des éléments organiques tout faits pour les rendre, en fin de compte, à l'état de composés, sinon minéraux, au moins se rapprochant davantage de la nature minérale. Mais la cellule animale peut être sensible, elle peut être volontaire et consciente, elle peut élaborer la pensée, manifestation dernière de la vie parvenue au degré le plus élevé dont il nous soit donné d'être témoins dans le monde dont nous faisons partie.

Toutes ces propriétés vitales doivent appartenir à toutes les cellules animales, mais elles ne leur appartiennent pas également et à tous les moments de leur existence. Chez les êtres infimes et monocellulaires qui s'agitent dans les bas-fonds de la vie, les activités nutritives et reproductrices sont seules manifestes, les autres, d'ordre supérieur, n'y sont point encore éveillées, et ce n'est que par une vue de l'esprit que l'on peut les considérer comme y étant contenues à l'état latent, vague et diffus. Mais, à mesure que la cellule appartient à un être plus perfectionné, les propriétés qu'on peut appeler de relation se développent, se spécialisent et se localisent à diverses cellules qui se différencient à cet effet. Et si l'on remonte à l'embryon de ces êtres supérieurs, embryon qui a commencé

par être une cellule et même un cytode, on est amené, par une hypothèse qui paraît hardie, à admettre que toutes les propriétés vitales, même celles de l'ordre le plus élevé, y sont contenues en principe ou en germe, puis qu'elles se développent, se polarisent, pour ainsi dire, et se répartissent d'une manière inégale entre les divers éléments organiques issus de la multiplication de l'élément embryonnaire primitif.

CHAPITRE II

LE SANG

Les tissus de tous les animaux sont, nous l'avons dit, baignés par un liquide nourricier avec lequel ils sont en perpétuel échange, c'est la *lymphe*. Certains invertébrés ne sont, pour ainsi dire, composés que d'un tube digestif plongé dans un sac rempli de lymphe; chez d'autres le fluide lymphatique est contenu dans un appareil circulatoire incomplet, appareil qui atteint son maximum de perfectionnement chez les vertébrés; mais c'est seulement chez ces derniers qu'on trouve le *sang* proprement dit. Il circule, chez tous les animaux, dans un système vasculaire fermé, et l'appareil de la circulation sanguine se présente ainsi comme un appareil de perfectionnement destiné à rendre plus intimes, plus réguliers et plus fréquents, les rapports entre les éléments réparateurs ou excitateurs et les tissus de ces êtres dont l'activité vitale est plus considérable.

Les histologistes s'accordent à considérer le sang comme un tissu liquide, car il est composé d'un plasma tenant en dissolution des principes immédiats organiques, des gaz, des sels minéraux, et en suspension, des éléments figurés de différentes espèces. Au sortir des vaisseaux, c'est un liquide rouge, légèrement visqueux, qui ne tarde pas à se coaguler en un *caillot* de consistance élastique, coloré en rouge, lequel, en se rétractant, laisse échapper un liquide ou *serum* jaunâtre. — La couleur et la consistance de ce caillot varient, d'ailleurs, beaucoup suivant les conditions physiologiques ou pathologiques dans lesquelles on se place.

Si l'on examine au microscope le sang frais et immédiatement après qu'il a été tiré des vaisseaux, on voit nager dans le liquide un nombre considérable de petits corps arrondis d'une couleur jaunâtre, ce sont les *globules rouges*, quelques corpus-

cules blanchâtres, arrondis, un peu plus gros, qui sont les *globules blancs* et quelques *granulations libres* ou *globulins* d'un très-petit diamètre. — Puis, au bout d'un temps très-court, on voit les globules rouges changer de forme, devenir irréguliers, crénelés, s'accoler les uns aux autres, et, si la préparation ne contient qu'une très-petite goutte de sang, il y apparaît des filaments réfringents constitués par de la *fibrine*, tandis que le sérum reste liquide dans le reste de la préparation. Nous allons étudier ces divers éléments :

I

GLOBULES ROUGES

Les globules rouges du sang, appelés quelquefois *hématies* (Gruithuisen), ont été découverts par Malpighi ; ils se présentent chez tous les Mammifères, excepté chez les animaux appartenant à la famille des Caméliens, sous la forme de corpuscules discoïdes, c'est-à-dire arrondis et plats mais déprimés vers le centre (*fig.* 22 *a*). Ils sont colorés en jaune rougeâtre et donnent au sang, par leur accumulation, la couleur qu'on lui connaît ; mais, en raison de leur moindre épaisseur au centre, ils sont presque incolores dans cette partie, ce qui pourrait faire croire à la présence d'un noyau dans leur intérieur. Cependant, chez tous les Mammifères adultes, ils sont en réalité dépourvus de noyau, et ce n'est que dans le sang des embryons que l'on trouve des globules nucléés. On peut s'assurer, d'ailleurs, que la moindre coloration du globule à son centre est bien due à sa moindre épaisseur à cet endroit et non à la présence d'un noyau. En abaissant un peu l'objectif, après qu'on l'a mis au point pour le maximum de netteté générale, on voit que le centre devient de plus en plus brillant et les bords plus sombres, ce qui indique qu'on a affaire à une surface concave. De plus, en pressant légèrement sur le couvre-objet avec la pointe d'une aiguille, on détermine dans le plasma des courants qui entraînent les globules. On reconnaît ainsi qu'ils roulent les uns contre les autres, et on les voit se présenter de profil sous la forme d'un

bâtonnet renflé par ses deux bouts et déprimé au milieu, ou, comme on dit, sous la forme d'un biscuit, (*b*, *fig.* 22); d'autres, vus de trois quarts, donnent pour projection optique une ellipse plus ou moins large. Mais on remarque, en même temps, que ces corps sont mous, car ils se déforment au contact les uns des autres, dans le courant qui les emporte, pour revenir bientôt à leur forme première. Lorsque plusieurs sont superposés, ils offrent une coloration d'autant plus foncée que le nombre des globules empilés est plus considérable.

En abandonnant la préparation à elle-même, on s'aperçoit que les globules se rassemblent, comme s'ils s'attiraient les uns les autres, et s'accolent par leur plus large surface de manière à former de véritables piles, qu'on a depuis longtemps comparées à des piles de monnaie et qui se réunissent les unes aux autres sous différents angles, se groupant comme

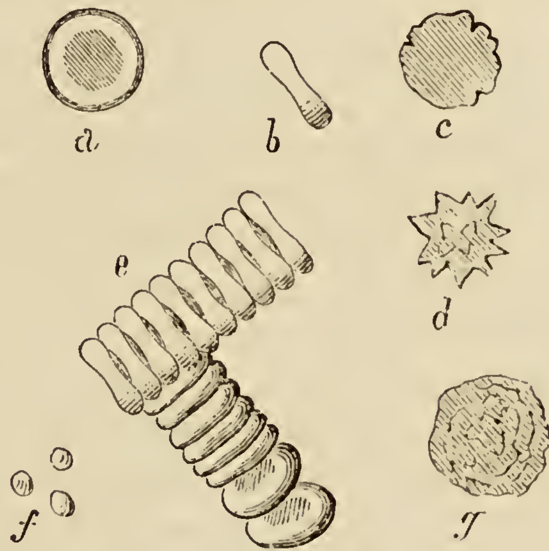


Fig. 22. — Globules rouges du sang.
a Globule normal, de face; — *b*, de profil; — *c*, *d*, crénelés par la dessiccation; — *e*, rassemblés en piles; — *g*, globule blanc; — *f*, granulations libres.

en un dessin ramifié. C'est, qu'en effet, ces corpuscules ténus s'attirent les uns les autres, ainsi que tous les corps de la nature; et comme, d'une part, ils sont soustraits à l'action de la pesanteur par la lame de verre qui les supporte ; comme, d'autre part, ils sont suspendus et libres dans un liquide, leur attraction mutuelle peut se satisfaire quand le liquide a repris son équilibre; ils se réunissent donc et ce n'est pas par hasard, ni

pour satisfaire une affinité particulière qu'ils s'accolent par leur plus large surface, mais c'est pour rapprocher, le plus possible, leurs centres d'attraction ou de gravité qui sont en même temps leurs centres de figure. En effet, l'attraction que chacun exerce sur son voisin peut être considérée comme une force agissant du centre de gravité du premier sur le centre de gravité du second ; et pour satisfaire à cette force, ce que leur permet la liquidité du milieu, à peine plus dense qu'eux-mêmes, dans lequel ils flottent, il faut qu'ils se réunissent par la surface la plus proche de ce centre, c'est-à-dire, vu leur forme discoïde, par leur plus large surface. Ils ne sont pas d'ailleurs agglutinés, comme on peut le croire au premier abord, car en pressant sur la lamelle, on rompt les piles qui vont bientôt se reformer.

Le diamètre des globules rouges du sang, à cet état, est peu différent dans un même sang, mais varie d'un individu à un autre et surtout d'une espèce animale à une autre. Le diamètre des globules rouges chez l'homme est, en moyenne, d'environ 7μ,7 (1), et leur épaisseur de 1μ,8 ($0^{mm}0077$ sur $0^{mm}0018$). Ils sont d'ailleurs répandus dans le sang en quantité tellement considérable, que les intervalles qui les séparent sont plus petits encore, et que si l'on n'a pas soin, dans l'examen qu'on en fait sous le microscope, d'opérer sur une très-petite goutte de sang comprimée entre les deux lames de verre de manière à lui donner le moins d'épaisseur possible, les couches de globules superposées sont tellement nombreuses qu'on ne voit qu'un magma rouge dans lequel on ne peut rien reconnaître de distinct. Vierordt a le premier essayé de compter ces globules, et en a trouvé 5,055,000 dans un millimètre cube de sang d'homme adulte; Welcker, 5,000,000; et c'est aussi à cette moyenne qu'est arrivé M. Malassez. D'ailleurs, ce nombre varie beaucoup suivant les conditions physiologiques et pathologiques et suivant les vaisseaux où on puise le sang; car M. Malas-

(1) D'après Harting, diam. moy. : 7μ,50 ; épaiss. 1μ,7 . — Welcker : 7μ,74, sur 1μ,9 . — Schmidt : diam. : 7μ,77. — Mais le diamètre peut chez certains sujets descendre à 4μ,5 et s'élever à 9μ,3 (Harting). D'après Woodward (1875), la moyenne n'est que de 7μ, 49

sez en a compté, dans certains cas, jusqu'à plus de 6,000,000, et une fois 800,000 seulement par millim. cube. Le sang de la femme serait moins riche en globules, d'après Welcker, et n'en contiendrait que 4,500,000 par millim. cube (1).

Chez les différents Mammifères, le chiffre des globules peut descendre jusqu'à 3,000,000. Chez les Oiseaux, il est moins considérable que chez les Mammifères et varie de 4,000,000 à 1,500,000. Enfin chez les Reptiles et les Poissons, il s'abaisse encore.

Le nombre des globules diminue, d'ailleurs, chez le même animal, après des saignées répétées, une longue abstinence,

(1) M. Malassez a inventé pour compter les globules du sang, un très-ingénieux instrument, le *compte-globules*, que construit M. Vérick.

Cet instrument se compose d'un *mélangeur*, d'un *capillaire artificiel* et d'un *oculaire micrométrique quadrillé*, c'est-à-dire portant au foyer du verre de l'œil non pas une simple division micrométrique, mais un verre formé de divisions croisées à angle droit comme un damier.

Le mélangeur sert à mêler le sang sur lequel on opère avec un sérum artificiel destiné à l'étendre en proportion connue, de manière à faciliter la numération des globules. Le sérum artificiel doit altérer aussi peu que possible les globules pendant le temps, d'ailleurs très-court, de l'expérience. Ce sérum se compose d'un volume d'une solution de gomme arabique, ayant une densité de 1020, et de 3 vol d'une solution de sulfate de soude et de chlorure de sodium à parties égales ayant la même densité de 1020. Le mélangeur est un tube à lumière capillaire terminé par une pointe à l'une de ses extrémités, et à l'autre par une embouchure à laquelle on peut adapter un tube de caoutchouc. Non loin de cette dernière extrémité, la lumière du tube s'élargit en une dilatation ampullaire dont la capacité est connue, et qui vaut par exemple 100 fois la capacité du tube capillaire depuis sa pointe jusqu'à un trait tracé à la base de la dilatation. Cette dernière contient une petite boule de verre. L'emploi du mélangeur est bien simple : on plonge sa pointe dans la goutte de sang et celui-ci s'introduit dans le tube par capillarité; ou bien on hâte son introduction, (car il faut que l'opération soit aussi rapide que possible) en aspirant par le tube de caouchouc, jusqu'à ce que le sang affleure au trait placé en avant de la dilatation. Cela fait, on essuie la pointe du tube, et on la plonge dans le sérum artificiel qu'on aspire jusqu'à ce que la dilatation ampullaire soit remplie, et que le liquide affleure au trait tracé au-dessus de la dilatation et qui en limite la capacité. Ce liquide se trouve donc composé d'un volume de sang étendu de 100 vol. de sérum, puisque la dilatation représente 100 fois la capacité du tube. Donc le mélange sanguin ainsi obtenu contiendra, dans un volume donné, 100 fois moins de globules que le sang employé, et, quand on aura compté ce nombre, il faudra le multiplier par 100 pour obtenir le chiffre des glo-

dans certaines maladies, l'anémie, pendant la grossesse, après la ménopause chez la femme, etc.

Welcker a évalué le volume de chaque globule sanguin de l'homme à 72 millièmes de millim. cube (0^{mmc}, 000 000 072) et, sa surface à 128 millièmes de millim. carré (0^{mmq}, 00 01 28). Le

bules contenus dans le même volume de sang non mélangé. Le mélange du sérum artificiel avec le sang, dans l'ampoule, se produit en faisant tourner le tube autour de son axe de manière que la boule intérieure brasse le liquide le plus intimement possible.

Il s'agit maintenant de compter les globules contenus dans un volume donné Pour cela, on emploie le capillaire artificiel. Celui-ci est un tube à lumière capillaire et plate, qui est fixé sur une lame de glace porte-objet et dont une extrémité se relève de manière qu'on peut y fixer un tube de caoutchouc. On n'a pu tracer de divisions sur ce tube parce qu'elles n'auraient pas été au foyer de l'objectif en même temps que les globules placés dans la lumière capillaire; mais le constructeur a mesuré en fractions de millimètre cube la capacité de différentes longueurs de ce tube évaluées en μ, c'est-à-dire en millièmes de millimètre, et les capacités correspondantes aux différentes longueurs ont été gravées sur la lame porte-

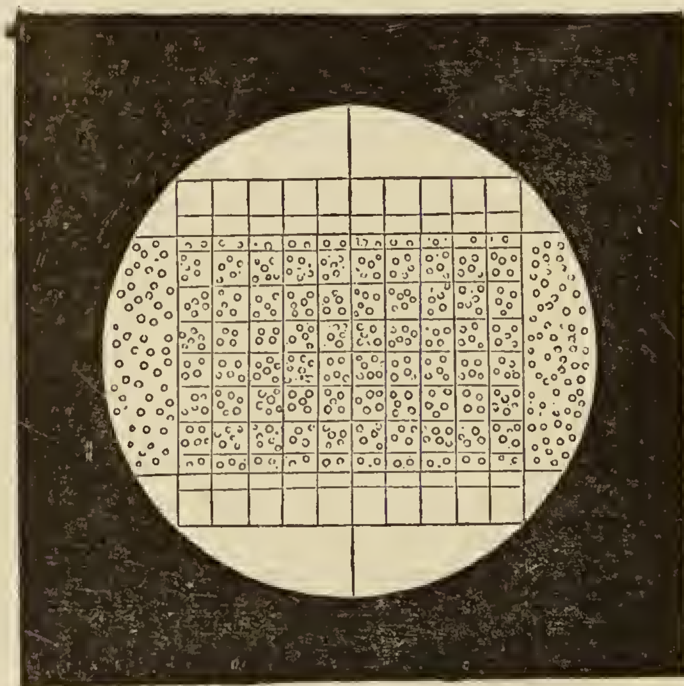


Fig. 23. — Capillaire artificiel vu sous le microscope avec l'oculaire quadrillé.

objet. Il faut donc s'arranger de manière à faire cadrer une de ces longueurs inscrites, et dont on connaît la capacité, avec le quadrillage de l'oculaire. Pour cela, on choisit un objectif approprié (n. 5 de Hartnack ou n. 3 de Vérick); on place sur la platine un micromètre objectif et on

poids spécifique du globule humide serait de 1,105 (1), et son poids de 8 cent millièmes de milligramme ($0^{mg},00008$).

Ces chiffres qui peuvent paraître oiseux amènent cependant à un résultat qui, au premier abord, semble surprenant. Si l'on évalue, en effet, la quantité de sang qui circule dans le corps

en fait coïncider les divisions avec celles du quadrillage, de manière que le quadrillage tout entier comprenne, par exemple, 50 divisions du micromètre objectif (divisé en 100emes de millim.), c'est-à-dire $0^{mm}50$ ou $0^{mm}500$ ou 500 μ, si ce nombre 500 μ est inscrit sur le porte-objet du capillaire. Pour arriver à cette coïncidence, il faut raccourcir plus ou moins le tirage du tube du microscope, et quand on l'a obtenue exactement on peut faire un trait sur le tube du tirage pour retrouver quand on le voudra cette position. Cela fait, on peut retirer le micromètre objectif et lui substituer le capillaire artificiel : il est clair que la longueur de ce capillaire contenue sous le quadrillage sera de 500 μ. Or, on trouve inscrit sur le porte-objet, en regard du chiffre 500 μ, un nombre qui représente la capacité de cette longueur, par exemple 150, ce qui signifie que cette capacité est égale à $\frac{1}{150}$ de millimètre cube.

On a fait pénétrer préalablement le sang du mélangeur dans le capillaire, en en déposant une goutte à l'extrémité libre du capillaire. Pour cela, on souffle dans le tube de caoutchouc du mélangeur, et l'on rejette les premières gouttes qui s'échappent par la pointe. Une goutte est déposée sur le porte-objet à l'ouverture du capillaire, on aspire cette goutte dans le capillaire par le tube de caoutchouc qui le termine à l'autre extrémité, et l'on n'a plus qu'à placer le capillaire sous le microscope, puis à compter les globules qui se trouvent sous le quadrillage. On peut faire ce compte plusieurs fois en différentes parties du tube afin de prendre une moyenne. Supposons que cette moyenne soit 320. Ce chiffre correspond, avons-nous dit, à une longueur de tube, 500 μ, qui représente $\frac{1}{150}$ de millim. cube. Un millimètre cube du mélange sanguin contiendra 150 fois plus de globules $= 320 \times 150 = 4800$. Mais nous savons que le mélange contient 100 vol. de sérum pour 1 de sang, le sang à analyser contenait donc 100 fois plus de globules : $= 4,800,000$.

$$320 \times 150 \times 100 = 4,800,000.$$

Cet appareil, très-ingénieux, comme on le voit, permet de faire un examen rapide du sang, et il faut qu'il soit rapide; bien que l'erreur qui a pu être commise, soit multipliée, dans le cas précédent, d'abord par 150 puis par 100, c'est-à-dire par 15,000, comme on peut s'arranger de manière à faire les erreurs toujours dans le même sens, on obtient des résultats comparables. L'opération se termine en 10 minutes, et comme le fait très-bien remarquer M. Ranvier, l'exactitude du résultat tient surtout à la perfection des instruments, et par conséquent la plus grande difficulté est pour le constructeur.

Toutefois, M. Malassez est arrivé avec le compte-globules aux mêmes chiffres que Welcker.

(1) 1,088 à 1,089 d'après C. Schmidt.

humain à 4 lit. 4. ou 4 400 000 millim. cubes, dont chacun contient 5 millions de globules, chaque globule ayant une surface de 128 millièmes de millim. carré, on trouve que toute la masse globulaire présente une surface totale de 2 816 mètres carrés. On comprend donc quelle surface énorme, relativement à celle du corps, la masse des globules rouges du sang offre à l'action de l'oxygène de l'air à laquelle ils viennent se soumettre dans les poumons à cet état de division extrême, et par conséquent combien est énergique, la combustion des tissus sous l'effet de cet oxygène ainsi divisé et continuellement charrié dans le torrent circulatoire.

Si l'on n'a pas eu soin de préserver de l'évaporation la préparation de sang, en lutant la lamelle avec de la paraffine, on remarque que bientôt les bords des globules deviennent irréguliers, crénelés, et leur surface présente des pointes plus ou moins nombreuses. C'est un effet de la dessiccation, effet qui se produit très-rapidement et qui commence même pendant les quelques minutes que dure la confection de la préparation. Si l'on abandonne une goutte de sang sur une lame de verre, au contact de l'air, les globules se déforment par des crénelures, se rassemblent, et se soudent en une masse fendillée dans laquelle on ne reconnaît plus rien de distinct.

Mais si l'on dessèche les globules rapidement, par exemple, en passant sur une lame de verre chauffée à 70° environ, la pointe d'une aiguille trempée dans le sang, les globules se dessèchent immédiatement sans se déformer, en conservant leur dépression centrale et leur diamètre normal (Welcker).

Si l'on chauffe le sang avec précaution, dans la platine chauffante, par exemple, on remarque que vers 56° ou 57° (Ranvier) les globules deviennent incolores, sphériques et émettent de petites boules reliées au globule par des filaments; à une température plus élevée, les globules se contournent, se déforment davantage encore, prennent souvent l'aspect de calottes ou de capsules que Dujardin avait déjà reconnues en traitant le sang par les carbonates alcalins.

En soumettant le sang à l'action de divers réactifs, on acquiert sur la constitution des globules des notions importantes.

Action des réactifs : — Eau. Si l'on introduit une goutte d'eau dans la préparation, les globules deviennent rapidement sphériques, en diminuant de diamètre, et se décolorent. Ils deviennent alors transparents et très-difficiles à apercevoir (1); en même temps l'eau de la préparation se colore en jaune. On peut donc conclure de cette réaction que le globule rouge est composé d'un stroma de substance protéique coloré par une matière colorante soluble dans l'eau. Cette dernière, qui joue un rôle très-important dans l'économie, est l'*Hémoglobine* que nous étudierons plus loin.

Alcool. — L'alcool faible agit comme l'eau, mais la surface des globules est coagulée par l'alcool et apparaît sous forme d'une membrane à double contour; l'hémoglobine se dissout d'ailleurs dans le liquide qui devient jaunâtre, tandis que les globules paraissent des vésicules incolores.

L'alcool fort, si on le fait pénétrer peu à peu dans la préparation, agit d'abord en coagulant subitement les globules qui se trouvent ainsi fixés dans leur forme; puis, à mesure qu'il se répand, il se délaye dans le liquide de la préparation, et finalement agit comme l'alcool faible en décolorant les globules qu'il coagule plus ou moins à la surface.

L'alcool absolu, déposé sur une gouttelette de sang avant qu'on ait recouvert de la lamelle, fixe les éléments qui conservent leur forme et leur couleur.

Iode.— L'eau iodée fixe aussi les globules dans leur forme et colore leur substance en jaune orangé, comme il colore toutes les matières albuminoïdes.

Acides, alcalis. — Les acides minéraux, les alcalis, les sels alcalins dissolvent les globules avec plus ou moins de rapidité.

Solutions salines. — Les solutions salines diluées agissent comme l'eau, dissolvent l'hémoglobine et rendent le globule sphérique et transparent.

Les solutions concentrées, au contraire, agissent comme la dessiccation, et rétractent les globules qui deviennent crénelés et épineux.

(1) Il est plus facile de les distinguer en employant la lumière oblique.

On peut donc préparer des dissolutions salines assez concentrées pour ne pas déformer le globule en le rendant sphérique, assez diluées pour ne pas le rétracter. Néanmoins, le point limite est difficile à atteindre, et avec le temps les globules sont toujours déformés. Cependant, on emploie souvent des solutions de sulfate de soude et de chlorure de sodium, ou de chlorure de sodium seulement (à 2 p. 100), pour conserver les globules rouges pendant un certain temps (1).

Acides chrômique, *tannique* et *sels métalliques qui coagulent l'albumine*. Toutes les substances qui coagulent l'albumine agissent comme l'alcool et déterminent la coagulation plus ou moins complète des globules.

Sucre, *gommes*, etc. Les dissolutions concentrées de sucre, de gomme arabique, etc., agissent comme les solutions salines concentrées et rétractent les globules. Les solutions diluées les rendent sphériques comme les dissolutions salines faibles. On peut donc, comme avec le chlorure de sodium, le sulfate, le phosphate de soude, préparer des solutions moyennement concentrées qui conservent plus ou moins longtemps les globules dans l'état actuel (1).

Plasma du sang. Le plasma du sang, provenant même du même sang, altère les globules et les rend sphériques souvent en moins de 24 heures.

Bile. L'action de la bile sur le sang est fort remarquable. Les globules pâlissent d'abord et se dissolvent tout à coup sans qu'il en reste trace (Kühne). L'action des sels alcalins de la bile est identique.

Urée. L'urée rend les globules sphériques sans les décolorer, mais il se produit bientôt des boules sarcodiques reliées au globule par un pédoncule comme en forme l'action d'une chaleur modérée.

Gaz. Lorqu'on agite du sang défibriné avec certains gaz, l'oxygène, l'acide carbonique, l'oxyde de carbone, par exemple, on remarque que la couleur du liquide change suivant le gaz

(1) On sait que c'est avec le chlorure de sodium, le sulfate de soude et la gomme arabique que M. Malassez prépare le sérum artificiel qui sert à diluer le sang pour faciliter la numération des globules.

employé. L'oxygène et l'oxyde de carbone communiquent aux globules une couleur d'un rouge rutilant, celle du sang artériel, en même temps que ceux-ci se contractent légèrement, tout en conservant leur forme caractéristique. L'acide carbonique, au contraire, les gonfle en leur donnant la teinte rouge foncé du sang veineux. On peut constater, en même temps, qu'il y a absorption d'une certaine quantité de gaz, mais que ces gaz combinés, ainsi que nous le verrons bientôt, avec l'hémoglobine, peuvent se remplacer successivement les uns les autres, et qu'il est facile de transformer plusieurs fois de suite le même sang en sang artériel et en sang veineux, en substituant l'oxygène à l'acide carbonique dans le flacon. La combinaison qui paraît la plus stable est celle que les globules contractent avec l'oxyde de carbone.

De ces nombreuses réactions, dont il serait inutile de poursuivre plus longtemps la liste, il résulte que les globules rouges discoïdes du sang des mammifères, déprimés au centre, ne contenant, à l'état adulte, ni noyau, ni granulations, sont des éléments très-instables qui paraissent constitués par un stroma albumineux teint par une matière colorante, l'hémoglobine, soluble dans l'eau et un grand nombre d'autres liquides. La présence d'une membrane d'enveloppe n'est pas démontrée, car le double contour qu'on obtient en traitant le sang par l'alcool, les acides chrômique, picrique, tannique, etc., peut résulter de la coagulation de l'albumine à la surface du globule. La couche coagulée peut se colorer par le picro-carminate d'ammoniaque, mais ce fait ne prouve pas qu'il y ait préexistence de cette membrane ou couche corticale condensée. Le meilleur argument qu'on puisse, à notre avis, invoquer en faveur de la présence d'une membrane, est l'existence, qui paraît bien démontrée, de cette membrane sur les globules du sang des Batraciens et notamment de la grenouille.

Il est, en effet, très-instructif d'étudier par comparaison les éléments histologiques sur différents animaux chez lesquels ils sont souvent plus faciles à observer, ou présentent, exagérés dans certains sens, quelques détails moins marqués et par con-

séquent moins aisés à apprécier chez l'homme ou les animaux supérieurs.

Nous avons déjà dit que tous les Mammifères ont les globules sanguins rouges discoïdes et déprimés au centre, sauf les Caméliens dont les globules sont elliptiques. Le diamètre de ces globules varie avec les espèces animales entre 2μ, 5 (cochon d'inde) et 9μ, 4 (éléphant) (1).

Les globules des Oiseaux sont elliptiques, mais chez les Reptiles, les Batraciens et les Poissons, ils sont elliptiques et renflés au centre où l'on constate la présence d'un noyau ovalaire. Les dimensions des globules chez les Oiseaux varient de 12 à 14 μ pour le grand diamètre et de 6 à 8 μ pour le petit. Chez les Poissons, le grand diamètre varie de 13 à 17 μ (excepté chez les Plagiostomes où il atteint de 22 à 33 μ), mais c'est chez les Batraciens qu'on trouve les plus gros globules : ceux de la grenouille mesurent 22 μ de longueur, ceux de *Triton cristatus*, 29 μ; ceux de la *Salamandra maculata*, 37 μ. Le protée (*Proteus anguinus*) a été longtemps cité comme offrant les plus gros globules connus, 58 μ, mais un Reptile anguilliforme muni de rudiments de pattes, qui habite les bords du Mississipi, l'*Amphiuma tridactylum*, présente des globules de 175 μ de diamètre et par conséquent visibles à l'œil nu.

L'étude microscopique du sang de la grenouille, animal que l'on peut se procurer aisément, est très-instructive. On ne peut obtenir du sang pur de grenouille en pratiquant à l'animal une piqûre à la peau, parce que le sang ainsi obtenu est toujours mêlé d'une quantité plus ou moins considérable de lymphe sous-cutanée; mais pour l'examen des globules, on peut se contenter de ce mélange. Dans le cas où l'on veut étudier le sang en nature, il faut ouvrir la poitrine de la grenouille, découvrir le cœur dont on coupe la pointe pour recueillir le sang pur qui s'en écoule.

(1) Peu de mammifères ont les globules plus gros que ceux de l'homme : chien, 7μ,37 ; lapin, 6μ,9 ; chat, 6μ,5 ; chauve-souris, 6μ, 1 ; cheval et bœuf, 5μ,6 ; mouton, 5μ ; chèvre, 6μ. (Welcker.)

Une très-petite quantité de sang, étendue rapidement sur une lame de verre et recouverte d'une lamelle, présente les globules elliptiques que nous avons décrits, légèrement gonflés au centre, ainsi qu'on le vérifie facilement sur les globules vus de profil, avec une zone ovalaire, granuleuse et plus claire, à leur centre. On y constate aussi parfois la présence de vacuoles qui devien-

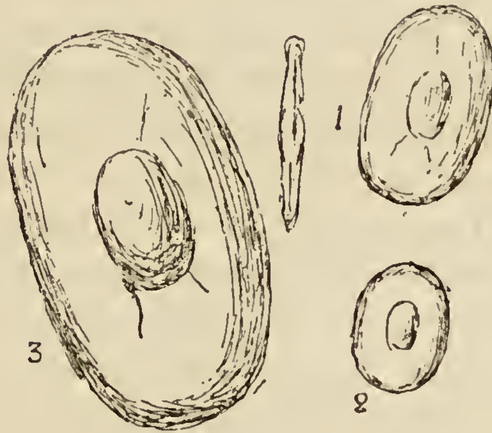


Fig. 24. — Globules elliptiques nucléés.
1. De la Grenouille; 2. De l'embryon de Poulet; 3. Du Protée.

nent de plus en plus nombreuses à mesure que la préparation vieillit. Ces globules sont jaunâtres, plus foncés à la périphérie qu'au centre, où la couche albuminoïde teinte par l'hémoglobine est moins épaisse, en raison du noyau placé dans ce point.

On met le noyau en évidence en traitant la préparation par l'eau. Les globules se décolorent, mais certains d'entre eux se rident en se gonflant; à leur surface apparaissent des plis rayonnant du noyau, qui ne se gonfle pas, vers les bords; ceux-ci deviennent plus épais. Le globule semble alors recouvert d'une membrane flasque.

L'alcool au tiers gonfle tellement la zone périphérique des globules que la partie centrale, restant adhérente au noyau, forme dépression. Puis, l'hémoglobine se dissout, l'élément devient incolore et paraît bordé par un double contour; le noyau reste d'abord homogène, et l'on peut alors distinguer un et quelquefois deux nucléoles. Autour du noyau on reconnaît

des granulations plus ou moins nombreuses. On peut alors colorer la membrane, le noyau et les granulations par le sulfate de rosaniline ou par le picrocarminate; mais dans ce dernier cas, il ne faut pas employer l'alcool. On fixe d'abord les globules dans leur forme par l'acide picrique qu'on remplace par le picrocarminate, puis par la glycérine.

L'action de l'eau, qui ne produit pas la coagulation de l'albumine, parait démontrer la présence d'une membrane d'enveloppe autour de ces globules. Les autres réactifs, la chaleur, la dessiccation, donnent lieu à des effets semblables à ceux qu'ils produisent sur les globules discoïdes des mammifères.

La grenouille se prête très-bien à l'étude de la circulation sur l'animal vivant. On l'immobilise en l'attachant sur une lame de liége, ou, mieux, en lui injectant sous la peau quelques gouttes d'une solution de curare au millième. Au bout de quinze à vingt minutes, les nerfs moteurs étant paralysés, la grenouille devient immobile comme un chiffon mouillé. On la dispose alors sur une lame de liége percée d'un trou au niveau du point dans lequel on veut observer la circulation, la membrane interdigitale ou la langue, dont la transparence permet de voir le sang circuler dans les vaisseaux sans sacrifier l'animal qui peut rester pendant deux ou trois jours dans cet état sans mourir. L'organe étant bien étalé sur une lamelle de verre dont est garnie la fenêtre percée dans le liége, maintenu avec des épingles, on peut observer sans couvre-objet. Le mésentère, étant beaucoup plus mince, peut être recouvert d'une lamelle, et offre, par conséquent, plus de facilité pour faire des observations avec de forts objectifs. M. Holmgren a récemment inventé un petit appareil qui permet d'étudier la circulation dans les capillaires du poumon de la grenouille. On peut aussi opérer sur le mésentère des petits Mammifères, comme la souris, sur le membrane de la queue des têtards, sur la vésicule ombilicale des très-jeunes poissons.

L'observation de la circulation sur l'animal vivant est extrêmement intéressante. Elle permet d'apprécier le degré de mollesse des globules roulant les uns sur les autres, se déformant par leur pression réciproque pour revenir aussitôt à leur aspect

ordinaire. On peut les voir s'étirer, pour ainsi dire, à la filière pour parcourir des capillaires moins larges que leur diamètre. On perçoit dans les artères, où le courant est plus rapide, l'influence des pulsations cardiaques, insensible dans les veines, où le courant est plus lent.

II

GLOBULES BLANCS

A côté des globules rouges, le microscope fait découvrir, dans le sang, d'autres corpuscules, beaucoup moins nombreux, incolores mais réfringents, ordinairement un peu plus gros que les globules rouges, et auxquels on a donné le nom de *globules blancs* ou de *leucocytes*. Ce sont les seuls qui existent dans le sang des invertébrés, et ce sont ceux que nous retrouverons dans la lymphe, laquelle les verse dans le sang. En un mot, ce sont des *cellules lymphatiques*.

Ils se présentent sous forme de corpuscules sphériques chez l'homme et chez les animaux à sang chaud (Mammifères et Oiseaux), lorsqu'on les examine sur une préparation tout à fait récente. Leur diamètre moyen est de 7 à 9 μ, mais il peut s'abaisser jusqu'à 4μ et s'élever jusqu'à 14. A cet état, ils ont un contour un peu irrégulier et paraissent homogènes ou finement granuleux. On n'en voit ordinairement qu'un très-petit nombre à la fois dans le champ du microscope, car on n'en compte qu'un seul pour 325 à 500 globules rouges. Si l'on exerce une pression sur la lamelle, les cellules lymphathiques ne sont pas entraînées par le courant déterminé dans le liquide, mais restent en plus grand nombre adhérentes au verre ; elles semblent donc de consistance agglutinative. Au bout de quelques minutes, surtout si la température ambiante est un peu élevée, on s'aperçoit que les contours des cellules, un peu irréguliers, changent d'une manière complète, et émettent des expansions dans divers sens, expansions qui se déforment

elles-mêmes incessamment, rentrent parfois dans la masse du globule, mais parfois aussi grossissent de plus en plus et finissent par absorber tout le corps cellulaire qui se trouve avoir ainsi progressé à la manière d'une amibe.

Ce sont les mouvements amiboïdes des cellules lymphatiques observées pour la première fois par Wharton Jones (1841) (1).

Le meilleur moyen d'étudier les cellules lymphatiques consiste à les prendre, non pas dans le sang où, comme nous l'avons dit, elles sont peu nombreuses, mais dans la lymphe qu'on recueillera dans le canal thoracique d'un animal à jeun (pour qu'elle soit moins trouble), dans le péricarde, la plèvre ou tout autre cavité séreuse, ou mieux encore dans les sacs lymphatiques de la grenouille, par exemple, dans le sac dorsal que l'on ponctionne, avec une pipette acérée, à travers la peau du dos. La lymphe des animaux à sang froid, comme la grenouille, est d'autant plus instructive à étudier que les mouvements amiboïdes des cellules se produisent à la température ordinaire avec une grande activité.

Une goutte de lymphe de grenouille déposée sur une lame de verre très-propre, immédiatement recouverte d'une lamelle qu'on borde à la paraffine, présente sous un fort grossissement un grand nombre de ces cellules pâles, homogènes, qui, lentement, se déforment en émettant des prolongements amiboïdes, incessamment variés de forme et de direction, produisant ainsi des figures dans lesquelles il est impossible de reconnaître les cellules primitives, à moins d'en avoir suivi les transformations. Comme ces changements sont très-lents, on les observe bien en dessinant avec la chambre claire, à quelques minutes d'intervalle, les différentes phases par lesquelles passe une même cellule. Et comme cette cellule en s'étalant, pour ainsi dire, par ses expansions, devient de plus en plus mince, elle devient aussi de plus en plus difficile à apercevoir.

(1) Dujardin avait observé déjà, comme le fait remarquer M. Ranvier, les *expansions sarcodiques* des cellules lymphatiques, dont nous parlerons plus loin et qui diffèrent essentiellement des prolongements amiboïdes.

On constate, en même temps, par ce procédé, que la cellule, se hâlant sur ses prolongements, se déplace peu à peu (*fig.* 25).

Mais si, par un moyen quelconque, on chauffe la préparation, par exemple en l'introduisant dans la platine chauffante, vers une température de 20° à 30°, les mouvements amiboïdes deviennent beaucoup plus rapides et plus amples ; que si l'on élève la température jusque vers 40 ou 42°, tous les mouvements cessent ; certaines cellules restent dans l'état, ou leurs prolongements se brisent et s'arrondissent en boule, d'autres se rétractent, deviennent sphériques ou bien s'arrondissent, et il en sort des excroissances en boule souvent liées au corps de la cellule par un pédoncule, *excroissances sarcodiques*, observées déjà par Dujardin, qui, une fois formées, ne rentrent plus dans la masse cellulaire et qui sont immobiles. Les cellules sont mortes alors, et l'émission de ces excroissances sarcodiques arrondies et homogènes est un phénomène de mort, tandis que celle des prolongements amiboïdes est un phénomène de vie (Ranvier) (1).

Si, au lieu de chauffer la préparation, on l'abandonne à elle-même sans en luter les bords avec de la paraffine, ou mieux encore si l'on place la goutte de lymphe de grenouille dans la chambre humide, de telle sorte qu'une zone d'air soit comprise autour de la goutte, et qu'on l'examine après l'avoir recouverte, on observe un grand nombre de cellules à peu près uniformément répandues dans le plasma lymphatique. Mais au bout de 24 heures, on reconnaît que beaucoup de cellules ont émigré vers les bords pour se rapprocher de la zone d'air; que les cellules restées au centre sont arrondies et sont immobiles. Quelques-unes de celles-ci sont moins réfringentes, granuleuses, et laissent voir à leur centre un noyau ordinairement volumineux et contourné ; elles sont mortes. Les autres

(1) Ces cellules sont tellement semblables à des Amibes dans leurs mouvements, qu'elles peuvent embrasser, comme les Infusoires, dans leurs expansions, des particules solides répandues dans la préparation, des petits fragments de cinabre, de vermillon, de bleu de Prusse, même des globules rouges du sang ou des fragments de globules, des gouttelettes de graisse ou de myéline.

ont conservé leur aspect réfringent et homogène ; elles ne sont qu'endormies, pour ainsi dire, parce qu'elles sont trop éloignées de la zone d'air, car on peut leur rendre leur activité en les chauffant légèrement ou en soulevant la lamelle pour faciliter l'action de l'air. On peut ainsi conserver pendant très longtemps des cellules lymphatiques vivantes en laissant une zone d'air sous la lamelle, par exemple à l'aide de la chambre à air, et chaque jour celles qui ont émigré vers les bords sont plus nombreuses, tandis qu'on trouve au centre la plupart des cellules mortes.

Tous ces phénomènes de vie et de respiration des cellules lymphatiques qu'il faut ainsi classer parmi les cellules contractiles, se produisent sur celles de l'homme et des animaux à sang chaud ; seulement les mouvements amiboïdes ne commencent à se manifester qu'à une température d'environ 20° pour cesser vers 40 ou 42° par la mort des éléments. De plus, les expansions amiboïdes sont moins considérables, moins effilées, les mouvements sont moins actifs à température égale.

Cette déformation des cellules lymphatiques par des expansions prouve que les éléments ne sont point enfermés dans une membrane d'enveloppe. Nous avons déjà vu qu'elles contiennent un noyau, mais on peut facilement mettre ce noyau en évidence et en déterminer nettement la forme en employant divers réactifs.

Eau. — L'eau, surtout aiguisée d'acide acétique, tue rapidement les cellules, met en évidence des granulations dans le protoplasma et un noyau de forme variée dont nous parlerons tout à l'heure.

Iode. — L'eau iodée, introduite dans une préparation contenant des cellules lymphatiques, les tue immédiatement en les colorant en jaune, en mettant en évidence le noyau et les granulations et déterminant la production de boules sarcodiques. Souvent, l'iode colore certaines cellules lymphatiques, provenant d'ailleurs de la lymphe ou du sang, en brun acajou, ce qui indique la présence de la matière glycogène.

Matières colorantes. — Le picrocarminate tue d'abord les

cellules et colore ensuite en rouge les granulations et le noyau, mais la coloration n'a lieu qu'après la mort des éléments. Le carmin ammoniacal dilué agit de même, mais plus lentement.

Ainsi, plusieurs réactifs permettent d'observer aisément le noyau. Sur une préparation de lymphe traitée par l'alcool au tiers, pour fixer les éléments dans leur forme, puis par le sulfate de rosaniline alcoolique (Ranvier), on constate que ce noyau est le plus souvent volumineux, en forme de bâtonnet replié ou pelotonné, ou contourné sur lui-même. Quelquefois on reconnaît plusieurs noyaux, ce qui indique une cellule en voie de multiplication ; d'autres fois encore on trouve des noyaux bourgeonnants avec un nucléole dans chaque bourgeon. Toutes les phases du bourgeonnement se présentent, ce qui permet de suivre tout le processus de la multiplication par bourgeonnement (*fig.* 25).

C'est même sur le sang de l'axolotl que M. Ranvier a suivi le premier, à ce que nous croyons, toutes les périodes de la multiplication des cellules. Les cellules lymphatiques du sang de ce Batracien ont un protoplasma assez transparent pour qu'on puisse observer le noyau sur les éléments vivants, dans la chambre humide, à la température ordinaire. Le noyau s'étrangle à son milieu sous l'étreinte du protoplasma qui se resserre à ce niveau et plisse la substance du noyau comme si elle était entourée d'une membrane; puis le noyau se sépare en deux et chacun des noyaux paraît gouverner le protoplasma qui l'entoure, protoplasma qui se divise par effilement.

D'autres fois le noyau au lieu de pousser deux bourgeons, en pousse trois ou même davantage dont les uns peuvent rentrer dans la masse nucléaire par un mouvement de contraction ; puis, les bourgeons, étranglés à la base de leur pédoncule, se séparent et bientôt le protoplasma, se répartissant autour de ces différents noyaux, forme autant de cellules qui s'en vont, amiboïdes, chacune de son côté. Toutes les phases de la multiplication d'une cellule se succèdent dans l'espace de 3 heures (Ranvier).

De cette étude que nous ne pousserons pas plus loin, il résulte que les globules blancs du sang ou cellules lymphatiques

sont de véritables cellules sans membrane, munies d'un et quelquefois de plusieurs noyaux, d'un ou de plusieurs nucléoles et contenant diverses granulations ; que le noyau peut être une vésicule à membrane. Il en résulte encore que ces cellules sont douées d'actifs mouvements amiboïdes qui se manifestent à la température ordinaire chez les animaux à sang froid, vers 20° chez les animaux à sang chaud, et qu'une température de 40° arrête en tuant les éléments. Enfin, l'action de l'oxygène de l'air est indispensable à la manifestation de l'activité vitale des cellules lymphatiques.

On peut chiffrer avec le compte-globules de M. Malassez les

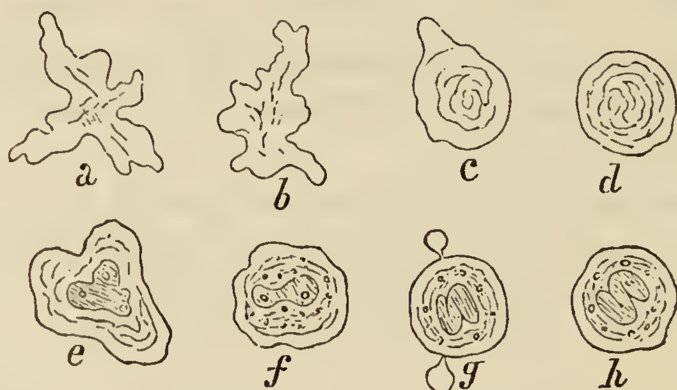


Fig. 25. — Globules blancs du sang ou cellules lymphatiques.
d, Cellule de l'homme, vivante ; *c*, la même avec expansion amiboïde ; *h*, la même morte ; *g*, la même avec excroissances sarcodiques ; *b*, cellule de la grenouille ; *a*, la même observée trois minutes plus tard ; *f*, cellules de l'axolotl avec noyau en voie de bipartition ; *e*, cellule de l'axolotl avec noyau bourgeonnant.

cellules lymphatiques du sang. On en trouve environ 8000 par millimètre cube, mais ce chiffre est très-variable, avec la nature du sang, l'âge du sujet et les conditions physiologiques ou pathologiques. Il diminue quand l'âge du sujet augmente ; le sang des enfants et des femmes enceintes est plus riche en globules blancs que celui de l'homme adulte.

Il en est de même du sang des malades affectés de leucocythémie ou leucocytose. Nous renvoyons pour cette étude aux ouvrages spéciaux (1).

Une des causes qui peuvent faire varier le nombre des globules

(1) Duval et Lereboullet, *Manuel du microscope appliqué au diagnostic*; 1 v. in-18, Paris, 1877.
Cornil et Ranvier. *Manuel d'histologie pathologique.*

blancs dans le sang d'un même vaisseau, chez un même sujet, est le ralentissement de la circulation dans ce vaisseau, par compression, ligature, etc Les cellules lymphatiques, beaucoup moins facilement entraînées par le courant sanguin ralenti, s'agglutinent en plus grand nombre aux parois du vaisseau, ce qu'il est facile de constater, *in situ*, par l'examen de la circulation sur la grenouille, dans les capillaires d'un poumon qui a été ligaturé, ou même dans la membrane d'une patte liée en comparant avec les capillaires de l'autre poumon ou de l'autre patte non liés.

III

GRANULATIONS LIBRES

Outre les éléments figurés que nous avons décrits, le sang présente encore quelques corpuscules ordinairement d'un très-petit diamètre, dont les uns, examinés avec attention, sont reconnus comme de très-petites cellules lymphatiques ; les autres, arrondies, ne sont que des gouttelettes graisseuses que l'éther dissout. D'autres enfin, irrégulières, anfractueuses, celles peut-être que Zimmerman a appelées *vésicules élémentaires*, paraissent être de petits fragments de fibrine, car l'eau ne les dissout pas, l'iode les colore en jaune, tandis que le carmin ne les colore pas. De plus, l'acide acétique les gonfle, les rend transparentes et finit par les dissoudre. Enfin, quand le sang commence à se coaguler, ces granulations augmentent de surface, et c'est d'elles que partent en rayonnant les premiers filaments de fibrine coagulée (Ranvier).

On a signalé aussi, dans le sang, la présence de corpuscules anguleux d'un brun foncé que n'attaquent ni les acides ni les autres réactifs, et que l'on considère comme des fragments de *pigment*, provenant probablement de la matière colorante du sang décomposée dans des dépôts sanguins par extravasation, dépôts reversés peu à peu dans le système circulatoire par la résorption.

IV

FIBRINE

Le sang retiré des vaisseaux se coagule au bout de quelques minutes, et si l'on examine sous le microscope une goutte de sang au moment où commence la coagulation, on voit apparaître des filaments très-fins, incolores, réfringents, qui se forment dans tous les sens et emprisonnent les globules dans un inextricable lacis.

Pour suivre le phénomène, il faut laisser coaguler et sécher sur une lame de verre une goutte de sang un peu épaisse. Quand elle est complétement sèche, on la lave sous un mince filet d'eau distillée jusqu'à ce que toute la matière colorante et les globules soient dissous et entraînés ; puis, en recouvrant la préparation d'une lamelle, on y reconnaît le fin réseau des fibrilles fibrineuses partant souvent des angles des granulations anguleuses dont nous avons parlé précédemment. On peut colorer le réseau par l'eau iodée ou par la solution aqueuse de sulfate de rosaniline, car, sans cette précaution, il est très-difficile à apercevoir.

On connaît le phénomène de la coagulation du sang ; on sait qu'au bout d'une dizaine de minutes, le réseau fibrineux s'est formé, et que bientôt toute la masse sanguine se prend en un *caillot* qui se moule sur la forme du vase et emprisonne les globules en totalité si la coagulation est rapide, dans les couches inférieures seulement si elle est lente, car les globules, dont la densité est de 1,105, tendent à tomber au fond du plasma dont le poids spécifique n'est que de 1,028 à 1,029. Peu à peu, le caillot se rétracte, diminue de volume, tout en conservant la même forme, et sépare un liquide citrin qui est le *sérum*, lequel contient en dissolution tous les éléments solubles du sang.

On a beaucoup discuté sur la cause de la coagulation du sang et nous ne pouvons entrer ici dans les détails de toutes les explications, aussi peu plausibles, en général, les unes que

les autres, qui ont été données de ce phénomène. Un seul fait est certain, c'est que sous l'influence de l'air, aussi bien en dehors qu'en dedans des vaisseaux (Hewson), le sang se coagule, soit par oxydation d'une substance fibrinogène qu'il contiendrait en dissolution et que cette oxydation transformerait en fibrine coagulable (Virchow), soit parce qu'une substance albuminoïde soluble, *plasmine* ou autre, s'y dédoublerait, par l'action de l'oxygène et par une sorte de fermentation ou *catalyse*, en une matière protéique qui resterait dissoute, comme l'albumine, et en fibrine coagulable. La fibrine, en effet, est plus oxygénée que l'albumine ; mais, en somme, la cause du phénomène est encore très-obscure.

Le froid ralentit la coagulation du sang ; la chaleur la détermine. Du sang coagulé redevient liquide quand on le refroidit pendant quelque temps à 0°.

Quand on bat du sang sortant des vaisseaux avec une baguette ou une poignée de verges, le fibrine s'attache en filaments élastiques à la baguette ou aux verges, et le liquide qui reste, contenant les globules en suspension, ne se coagule plus. C'est du sang défibriné.

V

SÉRUM

Le sérum, après la coagulation de la fibrine, contient encore un grand nombre de principes solubles, mais en dehors des globules rouges et blancs, des gouttelettes graisseuses, ne renferme plus d'éléments figurés. Son étude appartient donc à la chimie biologique ou à l'histochimie dont nous n'avons pas à nous occuper ici ; nous nous bornerons à signaler les principaux produits que l'analyse y révèle et qui sont en dissolution dans l'eau ou dans les sucs plasmatiques.

Ce sont d'abord l'albumine ordinaire, puis des bases organiques, l'*urée*, la *créatine*, le *créatinine*, la *xanthine*, et l'*hypoxanthine*, produits de la combustion des tissus, des *acides urique* et *hippurique*, provenant de la même source, des acides gras

fixes, *oléique*, *stéarique*, *margarique*, sans doute, des acides gras volatils *(butyrique)*, de la *séroléine* et du *glucose* en quantité variable (veines sus-hépatiques).

Puis des sels nombreux, principalement des sels alcalins, surtout le chlorure de sodium, le carbonate de soude et même des traces de sels ammoniacaux (Richardson); enfin, des carbonates, sulfates, phosphates, azotates, silicates de soude, de potasse, de chaux, de magnésie, du fluorure de calcium. Quant au fer, on ne l'a trouvé que dans la matière colorante des globules rouges dont nous nous occuperons bientôt.

Le sang contient de plus, comme on doit s'y attendre, des gaz libres, oxygène, acide carbonique, azote (1).

En raison de la grande quantité de sels alcalins et particulièrement du phosphate de soude, le sang à l'état normal est toujours alcalin. De cette condition dépendent l'état soluble de

(1) Nous donnons, à titre de renseignement, deux analyses du sang de l'homme et du cheval. On comprend que la composition du sang variant avec un nombre infini de circonstances, il est impossible d'en donner une analyse absolue et invariable.

Sang d'homme (Dumas).

Eau	790
Globules	127
Fibrine	3
Albumine	70
Matières grasses et sels	10
	1000

100 volumes de sang contiennent

Oxygène	10 — 17vol.
Acide carbonique	26 — 38
Azote	1 — 2

Sang de cheval (Hoppe).

Plasma	673.8
Globules humides	326 2
	1000.0

Les globules fournissent :

Eau	565
Parties solides sèches	435
	1000

la fibrine et de l'albumine et la conservation des globules dans leur forme, leur élasticité et leur cohésion.

VI

MATIÈRES COLORANTES DU SANG

Nous avons vu que les globules rouges du sang, qui donnent à ce liquide sa couleur, se décolorent quand on les traite par l'eau et divers autres réactifs qui dissolvent la matière colorante et laissent, pâle et transparent, le stroma des globules.

Il résulte de cette expérience si simple que l'union de cette matière colorante avec la substance protéique du stroma est peu stable, aussi connaît-on, depuis déjà longtemps, cette matière colorante qu'on a désignée sous divers noms, *hémato-cristalline*, *hématoglobuline*, *hématoglobine* ou *hémoglobine*.

Quant à la substance du stroma, elle est composée d'une matière albuminoïde, la *paraglobuline* (A. Schmidt), à laquelle se joignent de la *lécithine*, de la *cholestérine* et des sels de potasse (Hoppe-Seyler, C. Schmidt).

Le plasma contient :

Eau	908,4
Fibrine	10,1
Albumine	77,6
Principes immédiats divers	91,6
Graisses	1,2
Matières extractives	4,0
Sels solubles	6,4
Sels insolubles	4,7
	1000.0

Quant au fer, il n'existe que dans les globules, à l'état de phosphate tribasique et dans des proportions considérables :

100 gr. de globules secs (sang de bœuf) ont donné :	Phosphate terreux,	0.027
	Phosphate de potasse,	0.047
	Phosphate de fer,	0.994

1000 gr. de sang	artériel	ont donné pour le phosphate terreux	10 milligr.
	veineux		5 »

(Paquelin et Joly).

L'hémoglobine peut s'obtenir cristallisée en laissant concentrer les dissolutions qui la contiennent, ou bien en abandonnant au repos du sang défibriné qu'on a fait geler et dégeler plusieurs fois. Le procédé le plus commode consiste à agiter, dans un flacon, du sang défibriné avec de l'éther, qu'on verse goutte à goutte, jusqu'à ce que le liquide devienne transparent. On laisse reposer et il se dépose des cristaux microscopiques d'hémoglobine, ce qu'on appelait jadis les *cristaux du sang*.

L'hémoglobine n'est pas identique chez tous les vertébrés; celle du rat, du cochon d'Inde, de l'écureuil, du chien, etc., est moins soluble que celle de l'homme; aussi cristallise-t-elle plus facilement.

L'hémoglobine du sang humain cristallise en aiguilles prismatiques enchevêtrées (2, *fig.* 26), ou en tablettes rhomboïdales (5) celle du cochon d'Inde et de la souris en tétraèdres réguliers (4), celle de l'écureuil, en paillettes hexagonales (6), celle du hamster en rhomboëdres (1). Les cristaux sont d'un beau rouge amaranthe. Ils se désagrègent et se décomposent à une température de 160 à 170°. Le fer est un des éléments de leur constitution et on représente leur formule chimique par C^{1200} H^{960} $Az,^{154}$ S^{6} $Fe,^{2}$ O^{354} (?).

La propriété dominante de l'hémoglobine est la faculté qu'elle a d'absorber l'oxygène et de former avec lui une combinaison peu stable dont on peut chasser ce gaz par une température de 40° ou par l'action de corps réducteurs, ou bien encore de certains autres gaz qui contractent avec l'hémoglobine une combinaison plus stable. Un gramme d'hémoglobine dissoute dans l'eau peut absorber 1,3 centim. cube d'oxygène (Preyer).

C'est grâce à cette faculté d'absorption pour l'oxygène que possède l'hémoglobine que s'accomplit le phénomène de l'hématose par lequel le sang, ou plutôt la matière colorante des globules, vient se charger d'oxygène dans les poumons, à travers le fin épithélium des vésicules pulmonaires et des capillaires, où il devient ainsi du *sang artériel*, cédant en échange l'acide carbonique dont il s'est chargé dans son par-

cours à travers les tissus, acide qui provient de la combustion lente de ces mêmes tissus.

En traitant l'hémoglobine oxygénée par les agents réducteurs, le fer réduit par l'hydrogène (récemment préparé), le sulfhydrate d'ammoniaque, le sulfate de protoxide de fer, on lui enlève son oxygène et l'on obtient l'*hémoglobine réduite*, cristallisable comme la première, mais plus difficilement, plus soluble, et dont les dissolutions sont dichroïques, rouges par la lumière réfléchie, vertes par la transparence.

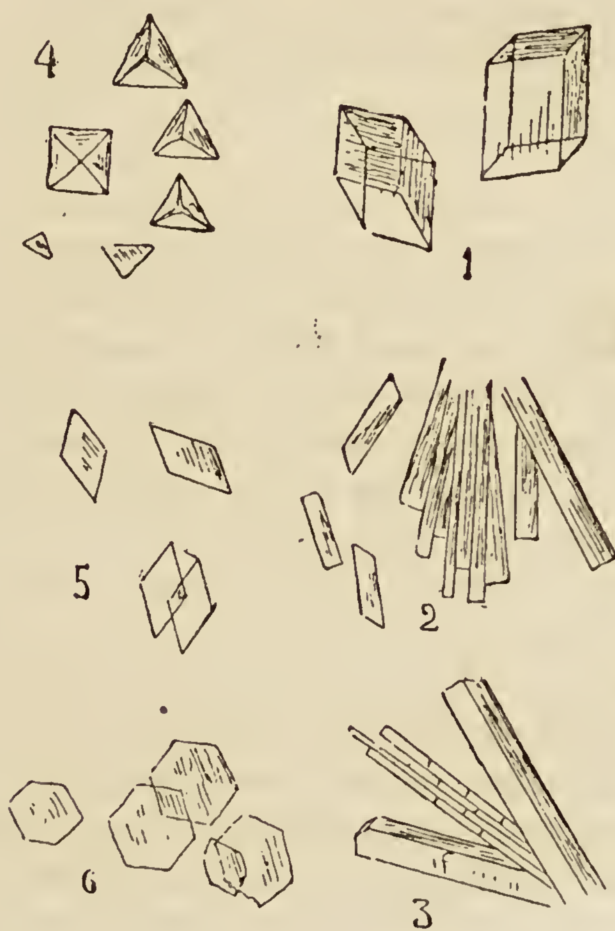


Fig. 26.— 2, 5, Hémoglobine de l'homme; 4, du cochon d'Inde; 6, de l'écureuil; 1, du hamster; 3, du chat.

Cette substance définie qui se présente comme libre de toute combinaison peut être considérée comme l'hémoglobine pure.

L'hémoglobine se combine énergiquement avec l'oxyde de carbone (Cl. Bernard, Hoppe-Seyler). Ce gaz réduit même l'hé-

moglobine oxygénée et se substitue à l'oxygène pour former une combinaison stable, impropre à entretenir la combustion des tissus. De là vient que l'oxyde de carbone agit comme un poison sur les êtres vivants. Cette *hémoglobine oxycarbonée*, que l'on obtient en traitant par l'éther du sang défibriné saturé d'oxyde de carbone, cristallise comme l'hémoglobine pure ou oxygénée. Sa couleur est violacée. Elle n'est pas réduite par les agents réducteurs, mais le bioxyde d'azote la décompose et se substitue à l'oxyde de carbone pour former une *hémoglobine bioxyazotée*, qui cristallise comme les précédentes et donne une combinaison plus stable encore (Hermann).

L'hémoglobine se combine encore avec le cyanogène, l'acide cyanhydrique, l'acétylène, etc., mais ces combinaisons sont moins connues.

Hématine. Cette substance, appelée *hématosine* par Lecanu, se forme probablement par un dédoublement de l'hémoglobine; Hoppe-Seyler lui donne pour formule $C9^{6}$ H^{18} Az^{6} O^{18} Fe^{3}. Elle se produit spontanément dans les épanchements sanguins anciens, dans les féces des animaux nourris avec de la viande, dans le sang abandonné au contact de l'air. On l'obtient artificiellement en traitant par les acides ou par les alcalis le sang défibriné, mais elle n'existe pas toute formée dans le sang physiologique. Les dissolutions d'hématine obtenues avec les acides et avec les alcalis ne sont pas identiques. Les premières sont d'un brun rouge par transmission et par réflexion, les secondes sont dichroïques, d'un brun rouge par réflexion, d'un vert jaunâtre par transmission. Nous verrons d'ailleurs qu'elles agissent différemment sur les radiations lumineuses.

L'hématine ne cristallise pas, mais se présente sous forme d'une poudre d'un brun bleuâtre. Néanmoins, elle contracte avec l'acide chlorhydrique une combinaison cristalline que Teichmann a découverte et qu'il a considérée comme un principe immédiat particulier nommé par lui *hémine*. C'est du chlorhydrate d'hématine. On l'obtient facilement en chauffant du sang défibriné, même en très-petite quantité, ou bien une solution d'hémoglobine, avec de l'acide acétique, après avoir ajouté un peu de chlorure de sodium. Il se forme, par l'évapo-

ration des liquides, des cristaux bruns rhomboïdaux, caractéristiques (1).

Réaction caractéristique des matières colorantes du sang. — La matière colorante du sang peut donc être à l'état d'*hémoglobine oxygénée* ou *réduite;* elle peut, par dédoublement, fournir de la *méthémoglobine* et de l'*hématine*, produits dérivés dont le premier est soluble dans l'eau et le second insoluble, mais soluble dans les acides et les alcalis, qui lui font éprouver des modifications, différentes d'ailleurs, dans sa composition chimique; or, toutes ces matières jouissent d'une propriété remarquable qui permet de déceler partout la présence du sang en quantité à peu près impondérable et même après de longues années.

Cette propriété, découverte par le D[r] Day, de Geelong, en Australie, est la suivante : la teinture de gaiac mise en présence d'une eau contenant un peu de sang passe au bleu quand on y ajoute une solution éthérée de bioxyde d'hydrogène.

Nous ne chercherons pas à expliquer ici la nature, assez obscure d'ailleurs, de cette réaction qui paraît due à ce que l'oxygène contenu dans le bioxyde d'hydrogène (ou eau oxygénée), y est dans un état particulier d'électrisation ou d'*ozonisation*. Elle peut se produire avec différentes substances, comme certaines essences dites *ozonisées* (2), mais jamais avec la même netteté que par la solution éthérée d'eau oxygénée, dite *éther ozonisé*.

Cette réaction est d'une sensibilité extrême, et l'on peut dire qu'elle est d'autant plus caractérisée que la liqueur contient moins de sang. Un seul filament d'étoffe présentant une tache de sang imperceptible, mouillée, après vingt-huit ans, d'une goutte de teinture de gaiac et d'une goutte d'éther ozonizé, a donné une tache bleue quand on l'a exprimée sur un papier

(1) C'est à l'aide de ce procédé, très-sensible d'ailleurs, que l'on établissait autrefois la nature des taches que l'on supposait formées par du sang ; il a été remplacé par l'analyse spectrale qui est beaucoup plus facile, plus fidèle et plus sensible encore.

(2) Ces subtances, aussi bien du reste que l'eau oxygénée, contiennent précisément de l'oxygène à un état électrique inverse à celui de l'*ozone*, c'est-à-dire à l'état d'*antozone*.

blanc ou sur un fragment de porcelaine non vernie. Ray-Lankester a vu la réaction se produire sur un seul globule de sang.

Beaucoup d'autres matières colorantes rouges ou brunes, les jus de fruits, l'encre, peuvent donner des taches qui bleuissent la teinture de gaiac, mais sans l'action de l'éther ozonisé ou autre substance semblable, action nécessaire quand il s'agit du sang.

Spectroscopie du sang. — Depuis l'application de l'analyse spectrale à l'étude de la matière colorante du sang, par Hoppe-Seyler, la science s'est enrichie de procédés d'une sensibilité plus grande encore pour reconnaître les moindres traces de cette matière, en même temps qu'elle est arrivée à des notions beaucoup plus complètes sur cette substance, ses combinaisons et ses dérivés.

Lorsque l'on intercepte par un prisme un faisceau lumineux qui a traversé une dissolution d'hémoglobine exposée à l'air, comme c'est l'ordinaire, ou préparée avec du sang qui a subi aussi l'action de l'air, en ayant soin de prendre cette solution très-diluée (couleur fleur de pêcher), afin d'avoir des résultats plus nets, on remarque que le spectre recueilli sur l'écran ou examiné avec une lunette, si l'on se sert d'un spectroscope, n'est plus identique au spectre normal. Certaines radiations colorées ont été *absorbées* par la dissolution d'hémoglobine qui, nous l'avons dit, paraît rouge par réflexion et verdâtre par transparence sous une faible épaisseur. Cette absorption se manifeste par l'apparition de deux bandes noires entre le jaune et le vert, ou plus exactement, la première un peu à droite de la ligne D de Fraünhofer (ligne du sodium) dans le jaune, et l'autre à gauche de la ligne E qui est dans le vert (*fig.* 27).

Telles sont les deux bandes d'absorption de l'hémoglobine oxygénée, et ces bandes se présentent identiques et situées exactement aux mêmes points, que l'on opère avec une dissolution d'hémoglobine ou avec de l'eau dans laquelle on a laissé dissoudre un peu de sang ou avec laquelle on a lavé une tache de sang.

Si l'on opère avec un spectroscope ordinaire, on place la solution de sang aéré dans un petit tube devant la fente de l'ins-

trument et on observe le spectre avec la lunette. On peut employer aussi le microspectroscope lequel est composé, comme on le sait, d'un oculaire au-dessus duquel est disposé un

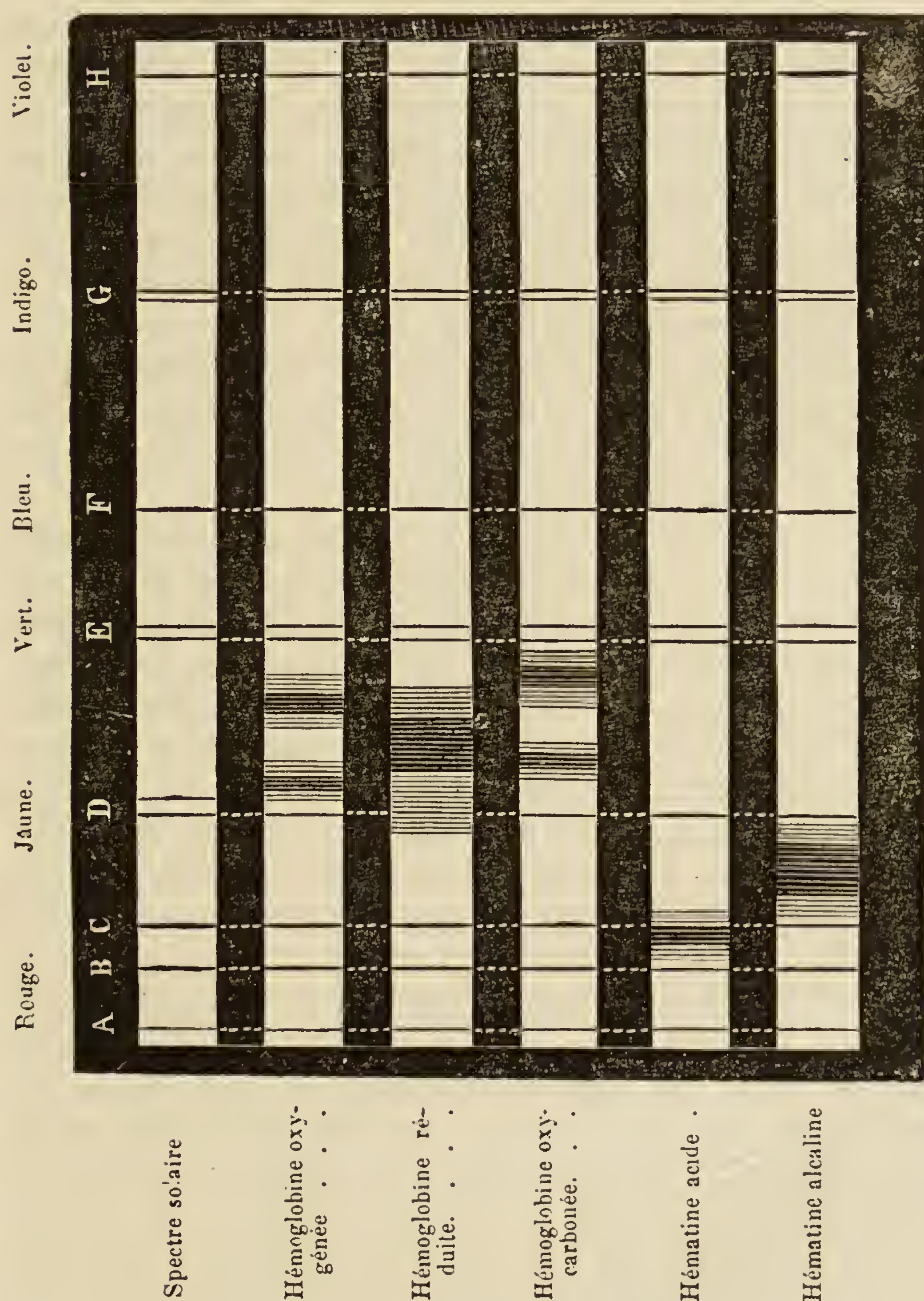


Fig. 27. — Spectres de l'hémoglobine et de l'hématine comparés au spectre solaire

système de prismes destiné à étaler en spectre, au foyer du verre de l'œil, le faisceau lumineux qui, après avoir traversé

l'objectif, passe à travers une fente étroite (1). Si l'on place sur la platine une dissolution d'hémoglobine ou du sang, ou une préparation contenant quelques globules rouges, on observe un spectre présentant les deux bandes d'absorption de l'hémoglobine oxygénée. On peut déterminer la position exacte de ces deux bandes dans le spectre, grâce à l'appareil qui permet d'observer, parallèlement au spectre de l'hémoglobine, un spectre normal réfléchi auprès du premier. De plus, les microspectroscopes de Hartnack et Prazmowski, de Zeiss, de Browning sont pourvus d'un micromètre dont l'image se projette sur le spectre et permet de noter exactement la position et la largeur des bandes d'absorption.

Ces bandes étant exactement les mêmes avec l'hémoglobine et avec le sang ou les tissus qui en contiennent, on en conclut que l'hémoglobine existe bien toute formée dans le sang et qu'elle en constitue la matière colorante.

Si sur la dissolution d'hémoglobine ou de sang sur laquelle on opère, on fait agir un agent réducteur, sulfure de sodium, d'ammonium, protosulfate de fer, fer réduit, etc., qu'on examine de nouveau le liquide au spectroscope, on constate que l'hémoglobine ainsi réduite et dont la teinte est plus foncée, comme celle du sang veineux comparé au sang artériel, n'offre plus qu'une seule bande d'absortion. Celle-ci est, à elle seule, à peu près aussi large que les deux bandes réunies de l'hémoglobine oxygénée (*fig.* 27), et placée dans une situation intermédiaire, comme si ces deux bandes s'étaient rapprochées et réunies. Néanmoins, cette bande unique s'étend, avec une intensité un peu moindre, il est vrai, jusqu'un peu à gauche de la ligne D, ce qui était probable *à priori*, puisque l'hémoglobine réduite est un peu plus foncée de couleur et doit, par conséquent, absorber un peu plus des rayons orangés voisins du rouge.

Le spectre de l'hémoglobine réduite a été découvert par Stokes.

Si l'on agite avec de l'air la solution de sang ou d'hémoglobine réduite, elle absorbe de nouveau de l'oxygène et reproduit le spectre de l'hémoglobine oxygénée. On peut répéter plusieurs

(1) Voir p. 22, fig. 11; la gravure a été, par erreur, placée à l'envers.

fois de suite la même alternance de phénomènes en oxydant et réduisant successivement la dissolution. Ces réactions sont absolument caractéristiques, et se manifestent sur les plus petites quantités de matière (Fumouze) (1).

L'hémoglobine oxycarbonée, ou la dissolution de sang agitée avec de l'oxyde de carbone, dont la teinte d'un rouge vif est semblable à celle de l'hémoglobine oxygénée, donne comme celle-ci deux bandes d'absorption très-analogues aux premières et qui sont toutes deux reportées parallèlement vers la droite, c'est-à-dire rapprochées de la ligne E. On peut apprécier ce déplacement à l'aide du micromètre.

L'hémoglobine protoxy-azotée, résultant de l'action du protoxyde d'azote sur le sang, donne un spectre identique à celui de l'hémoglobine oxygénée, mais les agents réducteurs ne peuvent plus désormais réduire l'hémoglobine et reproduire le spectre de l'hémoglobine réduite (Hermann). Si l'on fait agir sur l'hémoglobine oxycarbonée le protoxyde d'azote, ce gaz déplace l'oxyde de carbone, se combine à l'hémoglobine et l'on obtient un spectre semblable à celui de l'hémoglobine oxygénée, c'est-à dire celui de l'hémoglobine protoxy-azotée (Kühne).

L'hématine fournit un spectre qui, dans aucun cas, n'est semblable à celui du sang normal, réduit ou oxygéné. Donc elle n'existe pas toute formée dans le sang et n'est qu'un produit de transformation de l'hémoglobine, comme nous l'avons dit.

En ajoutant un peu d'acide acétique a du sang défibriné ou à une solution d'hémoglobine, on obtient l'*hématine acide*, liquide d'un rouge brun qui absorbe beaucoup de rayons rouges et présente une bande unique d'absorption commençant un peu à droite de la ligne B, dans le rouge, absorbant la ligne C et s'éteignant au delà de cette dernière dans l'orangé.

L'*hématine alcaline*, obtenue en traitant le sang ou une solution d'hémoglobine par les alcalis, donne une solution

(1) Cependant l'infusion des plumes d'un oiseau des Indes, le *Turacus albocristatus* donne les mêmes bandes d'absorption que l'hémoglobine ainsi que les dissolutions faibles de picrocarminate d'ammoniaque.

d'un brun rouge par réflexion, jaune verdâtre par transparence. Cette solution fournit une très-large bande d'absorption qui commence à peu près au point où finit la bande de l'hématine acide, un peu à droite de la ligne C et s'étend presque jusqu'à la ligne D.

Si l'on sature l'alcali par un acide et qu'on dépasse le point de saturation, on obtient de nouveau le spectre de l'hématine acide.

L'action de l'hématine sur les rayons rouges et orangés du spectre solaire est excessivement sensible. D'après Kühne, une solution d'hématine acide ou alcaline contenant $\frac{1}{6667}$ de matière, sur une épaisseur de 1 centimètre, fournit un spectre très-caractérisé, et Sorby a pu par ce procédé caractériser des taches de sang qui avait cinquante ans d'existence.

D'autre part, on a pu reconnaître ainsi la présence de l'hémoglobine dans le liquide sanguin, qui paraît incolore à l'œil nu, et dans les tissus de beaucoup d'invertébrés, Mollusques, Crustacés, Entomostracés, Annélides, etc. — (Ray-Lankester.)

VII

ORIGINE ET FORMATION DU SANG

Nous n'avons pas à revenir ici sur ce que nous avons dit dans les chapitres précédents sur le rôle du sang dans l'économie des animaux vertébrés. Nous rappellerons seulement que, renfermé dans un circuit fermé, il n'est en rapport avec l'intimité des tissus qu'à travers la membrane mince des plus fins vaisseaux ou capillaires. C'est donc par osmose qu'il leur fournit les matériaux assimilables destinés à la réparation de leur usure fonctionnelle. C'est dans le plasma du sang que chaque organe choisit, pour les assimiler, les éléments qui lui conviennent et avec lesquels certains fabriquent des produits de sécrétion divers. C'est par un mécanisme analogue que d'autres organes retirent du plasma sanguin des principes qu'ils choisissent pour les éliminer au dehors, les excréter, principes

désassimilés qui ont été abandonnés au sang par les tissus, en échange de ceux qu'ils y puisent pour les assimiler. C'est encore au sang qu'est dévolu le transport de l'oxygène dont s'est chargée l'hémoglobine des globules rouges, jusque dans les profondeurs de l'organisme, pour y entretenir la combustion lente nécessaire à la vie et recevoir, en échange, l'acide carbonique produit de cette combustion, l'azote même, résidu de la désoxygénation de l'air atmosphérique, peut être l'ammoniaque, l'un des produits de l'oxydation des tissus azotés.

Le sang joue ainsi un rôle des plus importants chez les animaux vertébrés, on comprend donc qu'il se forme de très-bonne heure dans l'embryon de ces animaux. Nous aurons à jeter bientôt un coup d'œil sur le développement embryonnaire et nous verrons comment le système vasculaire est formé aux dépens du feuillet moyen du blastoderme. Nous verrons plus tard comment, à l'origine, l'embryon est composé d'un amas de cellules douées d'une activité vitale extrême et d'une grande puissance de reproduction. Ces cellules sont, comme on dit, à l'*état embryonnaire*, état qui peut se reproduire chez l'adulte, par exemple, sous l'influence de l'*irritation*. Lors de sa formation, le système vasculaire peut être considéré, d'une manière générale, comme formé par des cellules groupées en une sorte de tronc ramifié, mais plein jusqu'au moment où les cellules centrales se fondent, se résorbent et constituent la lumière des vaisseaux. A ce moment, des cellules commencent à circuler dans les vaisseaux ; ce sont les premières cellules du sang ; elles sont arrondies, incolores, munies d'un noyau et d'un nucléole ; leur diamètre est variable, souvent très-considérable (23 μ, en moyenne, dans l'embryon de poulet, de 4 à 16 μ chez l'homme et les mammifères). Ces cellules se multiplient rapidement et bientôt se colorent en rouge par l'hémoglobine, se dépriment et deviennent des globules rouges, pendant que le réseau vasculaire continue à s'étendre.

Pendant quelque temps encore les globules rouges possèdent un noyau, même chez les vertébrés supérieurs, et se multiplient directement par division (Remak, Kölliker, Bütschli, etc.) ; mais cette multiplication des globules rouges par

division cesse à un certain moment de la vie fœtale, car sur des embryons de lapin de 9 à 10 millimètres on ne trouve plus qu'un petit nombre de globules en voie de segmentation, tandis qu'on observe déjà beaucoup de globules, petits, il est vrai, mais complétement formés et dépourvus de noyau (1 sur 5 ou 6 chez des embryons de lapin de 9 millimètres (Frey), 1 sur 6 ou 8 chez des embryons humains de 3 mois; chez des embryons de mouton de 11 à 28 millimètres, on ne trouve presque plus de globules nucléés).

La formation du sang dans l'embryon paraît donc assez bien connue, les globules rouge provenant de globules blancs tout à fait comparables à ceux du sang que nous avons décrits ; mais, après la période embryonnaire, l'origine des globules rouges est beaucoup moins bien établie.

Ces globules étant, à l'origine, pourvus d'un noyau et ne l'étant plus chez l'adulte, sont donc, tels que nous les voyons dans le sang des mammifères, par exemple, après leur naissance, dans une période de déclin; ce sont, en un mot, des organites en voie de destruction. Il est certain, cependant, qu'ils se régénèrent incessamment, sans quoi ils disparaîtraient bientôt complétement ; ils se régénèrent même rapidement, comme on peut le constater chez les animaux à qui l'on a pratiqué d'abondantes saignées. Comme, d'une part, il y a lieu de les considérer comme formés, chez l'embryon, par des globules blancs embryonnaires, il est assez logique de leur supposer la même origine chez l'adulte, car ils ne se multiplient pas par division. On ne voit, d'ailleurs, pas d'autres éléments que les cellules lymphatiques auxquels on puisse rapporter leur formation.

Cependant, il faut reconnaître qu'aucune observation certaine ne démontre d'une manière irréfutable la genèse des globules rouges par les globules blancs chez l'adulte. L'expérience de Recklinghausen sur la production artificielle, au dehors des vaisseaux, des globules rouges de la grenouille au moyen des globules blancs du même animal conservés pendant plusieurs jours dans une atmosphère d'air humide fréquemment renouvelée, expérience répétée avec succès, à ce qu'il paraît, par Kölliker, ne semble pas suffisamment probante, et M. Ranvier,

qui a cherché à la reproduire, n'a obtenu, malgré les soins les plus minutieux, que des résultats tout à fait nuls.

Il reste donc à trouver avec certitude le point de l'organisme vivant où s'opère cette transformation et à rechercher l'origine des globules blancs chez l'adulte. Ces cellules qui contiennent un noyau et quelquefois plusieurs, avec nucléoles, peuvent se multiplier par division, par bourgeonnement, et quant à leur lieu de production, ce peut être la lymphe et les ganglions lymphatiques, car on trouve beaucoup plus de globules blancs dans les vaisseaux lymphatiques qui sortent des ganglions que dans ceux qui s'y rendent. Elles peuvent naître encore dans les interstices du tissu conjonctif, ainsi que nous le verrons plus tard, ou résulter de la prolifération de certains épithéliums.

PRÉPARATION

Les détails dans lesquels nous sommes entrés à propos de l'étude du sang nous dispensent de plus amples renseignements sur le mode de préparation du sang pour le soumettre à l'examen microscopique. Nous avons dit combien les éléments en sont rapidement altérables, notamment les globules rouges ; il en résulte que la préparation devra être faite dans le moins de temps possible. On expérimente ordinairement sur une gouttelette de sang obtenue par la piqûre d'un doigt avec une aiguille propre. Il faut avoir soin de préparer d'avance une lame et une lamelle sèches et nettes, et après avoir posé la lame de verre sur la piqûre, on recouvre immédiatement et on lute aussitôt avec de la paraffine pour empêcher l'évaporation qui déforme les globules rouges. Il faut employer au moins des grossissements de 5 à 600 diamètres, les objectifs 7, 8 et 9 de Hartnack et Prazmowski. Pour l'étude des globules blancs, étude qu'il est intéressant de prolonger pendant plusieurs jours, il faut chauffer la lame de verre et la lamelle dans la flamme d'une lampe à alcool, immédiatement avant de s'en servir, pour détruire les germes organiques qui

pourraient y être déposés avec les poussières et empêcher le développement des bactéries dans la préparation.

Pour faire agir les réactifs, on enlève la paraffine sur deux côtés opposés de la lamelle, et on dépose la goutte de réactif sur l'un des côtés, le liquide pénètre par capillarité dans la préparation, sinon on détermine une aspiration du côté opposé avec un petit morceau de papier brouillard. Nous avons dit comment on emploie la chambre humide, nous n'y reviendrons pas.

Quant au spectroscope et au microspectroscope, leur maniement est assez facile et n'exige aucune mention particulière; nous rappellerons seulement que si l'on veut rapporter la position des bandes d'absorption aux raies de Frauenhofer, il faut réduire la fente à des dimensions, pour ainsi dire, linéaires pour obtenir d'une manière nette la formation des raies (avec la lumière du jour, car on sait que celle des lampes ne détermine pas l'apparition des raies).

CHAPITRE III

LA LYMPHE ET LE CHYLE

I

LA LYMPHE

La lymphe est un fluide nourricier qui existe chez tous les animaux, et c'est le seul, ainsi que nous l'avons dit, qu'on trouve chez les invertébrés, lesquels manquent de véritable sang. Il est répandu en très-grande abondance dans tout l'organisme, dans les interstices des tissus, dans les mailles du tissu conjonctif, dans les cavités séreuses, qui communiquent avec un réseau vasculaire lymphatique très-compliqué, dans lequel circule la lymphe. Les parois de l'intestin sont tapissées d'un système de vaisseaux dits *chylifères* qui puisent, à travers les parois du tube digestif, les matières élaborées par la digestion, sous forme d'un liquide très-chargé de granulations, le *chyle*. Ce dernier est versé par les chylifères dans un large vaisseau, le canal thoracique, qui débouche dans le système veineux. Il en résulte que la lymphe vient, par l'intermédiaire du canal thoracique et des veines, se mêler au liquide sanguin. Il en résulte encore qu'au moment de la digestion, la lymphe recueillie dans le canal thoracique n'a ni la même composition, ni le même aspect que dans l'intervalle des digestions, en raison de la présence du chyle.

D'ailleurs, la lymphe, dans laquelle sont immédiatement plongés les organes et les tissus, reçoit, pour ainsi dire, de première main, les produits de leur désassimilation, en même

temps que, de première main aussi, elle peut leur fournir des nutriments. En raison de ce continuel échange, la composition de ce liquide varie à chaque instant, non-seulement dans les différents points où on le recueille, mais aux différentes heures du jour. De là vient que les analyses qu'on en a faites sont très-discordantes.

La lymphe, chez un animal à jeun, est un liquide limpide ou un peu opalin, mais qui, chez le même animal, pendant la digestion, devient trouble ou même laiteux. Limpide, elle présente une composition analogue à celle du sang (1). Comme le sang, elle se coagule après qu'elle est sortie des vaisseaux, mais au bout d'un temps ordinairement un peu plus long. Le caillot se rétracte aussi, après s'être moulé sur le vase, mais il est toujours plus petit que le caillot sanguin, toutes choses égales d'ailleurs, car il ne représente qu'environ 4 à 5 p. 100 du poids de la lymphe employée. Ce caillot est composé de fibrine provenant d'un dédoublement identique à celui que nous avons décrit pour la fibrine du sang. Dans le sérum, qui figure pour 95 p. 100 en moyenne, on trouve de l'albumine, des matières grasses, des sels semblables à ceux du sang, mais toutes ces

(1) 1,000 parties de lymphe ont donné : Sérum, 955,2 ; caillot, 44,8.

1,000 p. de caillot :	Eau	907,3
	Fibrine	48,7
	Albumine . . . . / Graisse et acides gras . / Autres subst. organiques	34,3
	Sels	9,7
1,000 p. de sérum :	Eau	957,6
	Albumine.	32,0
	Graisse et acides gras . .	1,2
	Subst. organiques diverses.	1,8
	Sels	7,4

Comme les globules du sang, les cellules de la lymphe contiennent d'autres sels minéraux et en d'autres proportions que le plasma.

(Schmidt.)

100 gram. de lymphe ont donné jusqu'à 42,28 centim. cubes de gaz :

Azote.	1,63 centim.
Oxygène. . . .	de 0 à 0,43
Acide carbonique .	de 28 à 40,32

(Hammarsten.)

substances ordinairement en moindre quantité. Les carbonates, phosphates et sulfates alcalins qui y dominent avec le chlorure de sodium, donnent à la lymphe une réaction alcaline.

Enfin, on y trouve du glucose et des gaz en proportions très-variables, de l'oxygène, de l'azote et surtout de l'acide carbonique.

La lymphe présente des éléments figurés, les cellules lymphatiques, que nous avons longuement étudiées dans le chapitre précédent sur les animaux à sang chaud et les animaux à sang froid; nous n'y reviendrons pas. Dans la lymphe des Batraciens, toutefois, les cellules paraissent présenter un diamètre à peu près uniforme, tandis que chez les Mammifères, on trouve dans la même lymphe des cellules très-petites et d'autres d'un diamètre presque triple. Les plus petites, prises pour des noyaux libres par quelques auteurs, ont reçu le nom de *globulins*.

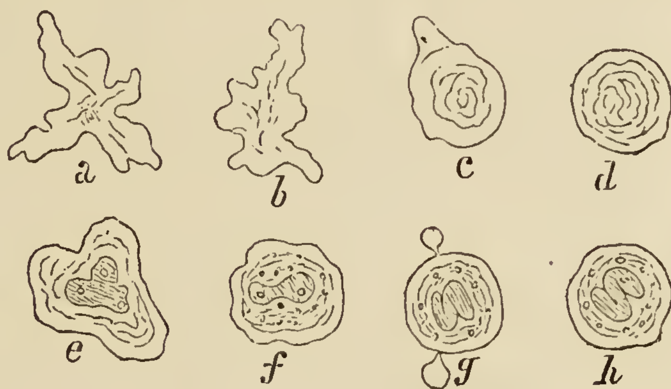


Fig. 28. — Cellules lymphatiques.

d, *c*, cellules de l'homme, vivantes; *h*, *g*, mortes; *a*, *b*, cellules de la grenouille; *e*, *f*, cellules de l'axolotl.

Toutes les expériences et les réactions que nous avons indiquées sur les globules blancs de sang se reproduisent sur les cellules de la lymphe et même avec plus de facilité, en raison de la grande abondance des éléments.

Nous avons vu que les cellules lymphatiques sont douées d'une grande activité vitale qui se manifeste pendant longtemps, même en dehors des vaisseaux. Plongées dans le plasma lymphatique comme les cellules des autres tissus, « elles y vivent, dit M. Ranvier, au même titre et de la même façon que les éléments de nos organes; avec cette seule différence, qu'elles sont

mobiles, tandis que les éléments des tissus sont maintenus ensemble et demeurent fixes. »

Elles sont mobiles, grâce aux mouvements amiboïdes dont elles sont douées, mais cette mobilité, qui leur permet de cheminer dans les interstices des tissus, de traverser même, ainsi que nous le verrons, les parois des capillaires, de pénétrer dans l'intérieur des corps poreux, moelle de sureau ou autres, que l'on introduit dans les cavités lymphatiques, a besoin pour se développer de l'influence de l'oxygène, gaz qui n'existe que peu ou point dans la lymphe.

Les cellules doivent donc rester à peu près à l'état sphérique et rouler facilement dans le système vasculaire lymphatique où le courant est très-lent, vu l'absence d'organe propulseur analogue au cœur. C'est ainsi que les cellules dépourvues de mouvement ne viennent pas s'agglomérer aux parois des vaisseaux et y causer des obstructions. En arrivant dans le système sanguin, où les globules rouges leur cèdent de l'oxygène, elles retrouvent leurs propriétés actives, mais elles sont entraînées par la rapidité du courant, à moins que la circulation venant à être ralentie, obstruée en quelque point, elles ne s'attardent le long des parois, s'y accumulent par places, et même, insinuant leurs prolongements amiboïdes entre les cellules qui tapissent ces parois, traversent la membrane du vaisseau et se répandent, par diapédèse, dans le tissu conjonctif environnant, peut-être pour aller porter directement aux tissus les nutriments qu'elles ont puisés dans le plasma de la lymphe. On peut être témoin de ce phénomène, du moins en partie, quand on examine avec soin la circulation sur un animal vivant, la membrane interdigitale de la grenouille, le mésentère du même animal ou de la souris. (Voir page 88.)

Mais, arrêtées pendant un certain temps dans un point où l'oxygène leur manque, où les échanges dont elles sont le siége ou l'organe ne peuvent s'établir, dans l'impuissance où elles sont d'émigrer, elles meurent ; ces cellules lymphatiques mortes qui sont venues s'échouer, pour ainsi dire, dans certaines parties des tissus, sont des globules de *pus*, et les points où elles se sont accumulées constituent des *abcès*.

II

LE CHYLE

Le *chyle* est la lymphe recueillie dans les chylifères ou dans le canal thoracique pendant la digestion. Sa couleur est opaline, lactescente même, en raison des nombreuses granulations réfringentes qu'il contient mêlées aux cellules lymphatiques. Ces granulations se retrouvent d'ailleurs, mais en beaucoup moindre quantité, dans la lymphe des animaux à jeun.

Elles paraissent formées de petites vésicules d'une matière albuminoïde contenant de la graisse (H. Müller), car si on les traite par l'acide acétique qui dissout la matière protéique, la graisse devenue libre se réunit en gouttelettes graisseuses ; si, d'autre part, on agite le chyle avec de l'éther qui dissout la graisse, le dépôt, examiné au bout de quelques jours, est formé par les granulations réduites à la matière albuminoïde et ayant perdu une partie de la réfringence qu'elles devaient à leur contenu huileux.

Enfin, l'acide osmique coagule au bout d'un certain temps la matière albuminoïde et colore la graisse en brun, ce qui permet de reconnaître les deux substances.

Les granulations du chyle, comme les fines gouttelettes graisseuses du lait, sont soumises à un vif mouvement moléculaire, sorte de vibration ou d'oscillation sur place, le *mouvement brownien*.

PRÉPARATION

On prendra pour faire les préparations de lymphe les mêmes précautions que pour celles de sang, afin d'empêcher le développement des bactéries, si l'on veut conserver pendant plusieurs jours les cellules lymphatiques dans le plasma.

Nous avons indiqué comment on recueille la lymphe de la grenouille dans le sac lymphatique situé sous la peau du dos,

en le ponctionnant avec un tube étiré à la lampe en une pointe très-fine qu'on casse à l'extrémité, de manière à la rendre tranchante. Quand la pointe a pénétré, à travers la peau, dans le sac que l'on gonfle en le pressant entre les doigts, on aspire la lymphe par l'autre extrémité du tube.

On peut obtenir une notable quantité du sang blanc ou lymphe de l'écrevisse, en perçant la carapace du céphalothorax et en comprimant le corps de l'animal, ce qui permet de faire sur les globules blancs des Crustacés, dont les mouvements amiboïdes sont très-actifs, des observations intéressantes. Il en est de même de la lymphe des Insectes, et l'on peut en obtenir facilement en arrachant ou coupant à sa base une élytre à un hydrophile ou à un hanneton, ou en perçant leur carapace thoracique.

Quant à la lymphe des animaux à sang chaud, on la prend dans le canal thoracique d'un chien ou d'un lapin. On pose une première ligature au-dessous de laquelle le canal se gonfle, puis une seconde, à quelques centimètres plus bas. On obtient ainsi, entre les deux ligatures, une sorte de sac plein de lymphe, sac que l'on peut séparer et piquer pour en extraire le liquide à étudier. Il faut opérer sur des animaux à jeun, ce qui est assez difficile sur le lapin chez qui la digestion paraît à peu près continue.

En pratiquant une fistule à un animal curarisé (mais qu'il faut alors soumettre à la respiration artificielle), on peut recueillir des quantités considérables de lymphe (1).

On trouve presque toujours dans la lymphe quelques globules rouges provenant des vaisseaux sanguins qui ont été ouverts en pratiquant l'opération.

Le chyle se recueille par des procédés analogues, mais sur des animaux en digestion.

(1) M. Colin a obtenu 95 kil. 286 gr. de lymphe, en 24 heures, chez une vache, et Lesser, 300 centim cubes chez un chien.

CHAPITRE IV

LES ÉPITHÉLIUMS

I

DÉVELOPPEMENT DES ÉPITHÉLIUMS

On appelle *Épithéliums* des tissus composés uniquement de cellules disposées sur une ou plusieurs couches et qui servent de revêtement à toutes les surfaces extérieures ou intérieures du corps de l'homme et des animaux. Ainsi la peau, l'intestin, les organes respiratoires, génito-urinaires, les cavités séreuses, les vaisseaux sont tapissés par un épithélium.

Le rôle de ces membranes dans l'économie est de la plus haute importance, puisque c'est par leur intermédiaire que s'opèrent tous les échanges, les absorptions, les exhalations et les sécrétions. Aussi les épithéliums sont-ils autonomes ; ils puisent directement leurs aliments dans le plasma qui les baigne et ne sont parcourus par aucun vaisseau. Par la même raison, ce sont eux qui se forment les premiers lors du développement de l'embryon dans l'œuf, puisque les tissus de cet embryon ont, dès le premier moment, besoin d'opérer des échanges avec le vitellus destiné à subvenir pendant un certain temps à leur nutrition.

Aussi, devons-nous jeter, en commençant, un rapide coup d'œil sur le développement de l'embryon et la formation du *blastoderme*, c'est-à-dire précisément des premiers épithéliums.

On sait que l'œuf a la valeur d'une cellule enveloppée d'une membrane, *membrane vitelline* ou *chorion* contenant un protoplasma particulier, le *vitellus*, au sein duquel est un noyau, la

vésicule germinative (1), qui contient lui-même un nucléole, la *tache germinative* (2). Sous l'influence de la fécondation et par un processus que nous étudierons plus tard avec plus de détails, la vésicule germinative disparaît et le vitellus se segmente en deux cellules, puis 4, puis 8, 16, etc. (*fig.* 29); à mesure que

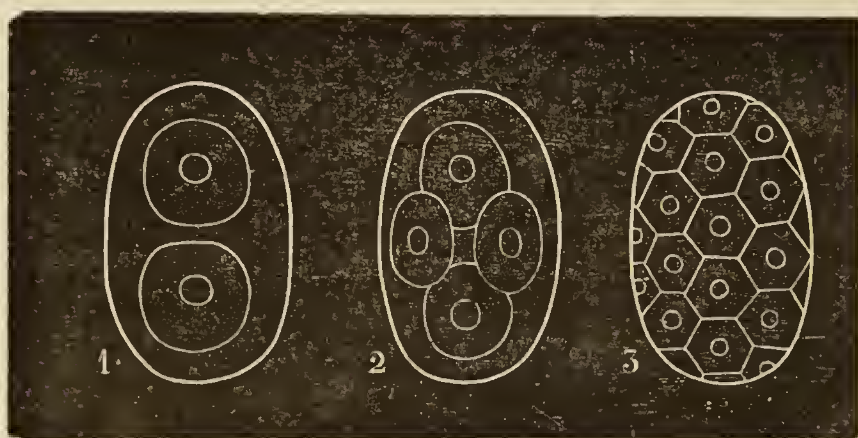


Fig. 29. Différentes phases de la segmentation du vitellus.

ces cellules ou *boules de segmentation* se forment, elles se groupent sous la membrane vitelline, rejetant au centre de l'œuf la partie encore liquide du vitellus. En se multipliant, elles se compriment, se soudent en une membrane épithéliale, c'est le *blastoderme*.

Bientôt, en un certain point de cette membrane, les cellules prolifèrent avec activité et forment une petite tache qui paraît plus épaisse, plus opaque, plus dense que la surface environnante, c'est la *tache embryonnaire* ou *aire germinative*, c'est l'*embryon*.

Dans ce court exposé de la formation de l'embryon, nous n'avons pas fait de distinction entre ce qui se passe dans l'œuf des Mammifères et dans celui des Oiseaux. Les différences sont, d'ailleurs, plus apparentes que réelles et portent surtout sur ce qu'une partie du vitellus, dit *vitellus de nutrition*, ne

(1) Ou *vésicule de Purkinje*.
(2) Ou *tache de Wagner*.

participe pas immédiatement à la formation de l'embryon (1). Les explications générales que nous avons données et celles qui vont suivre suffisent à la démonstration du rôle formateur des épithéliums, ce qui est notre seul but, car nous n'avons pas à nous occuper plus particulièrement d'embryologie.

Si l'on fait une coupe transversale de l'œuf passant par la tache embryonnaire, on reconnaît qu'en ce point la couche celluleuse s'est effectivement épaissie et s'est doublée d'une couche plus profonde. La tache se compose donc maintenant de deux couches; la couche épithéliale externe est le *feuillet externe du blastoderme* et la couche profonde, qui a aussi les caractères d'un épithélium, est le *feuillet interne du blastoderme*. Bientôt, pendant que le feuillet interne s'étend en doublant le feuillet externe, il s'en sépare, et, entre les deux, apparaît une nouvelle couche, qui est le *feuillet moyen*, l'*aire vasculaire*, très-peu étendue alors. La tache embryonnaire fait alors une saillie allongée à la surface du feuillet externe, saillie qui formera le dos de l'embryon. Puis, cette saillie se déprime au milieu et forme un sillon, *sillon dorsal*, qui devient de plus en plus profond, s'invagine dans le feuillet moyen, et ses deux bords se soudent de sorte que le sillon ou gouttière se transforme en un canal dont les parois sont formées par le feuillet externe, mais qui, bientôt, s'en sépare et s'isole dans l'épaisseur du feuillet moyen. C'est le *canal verté-*

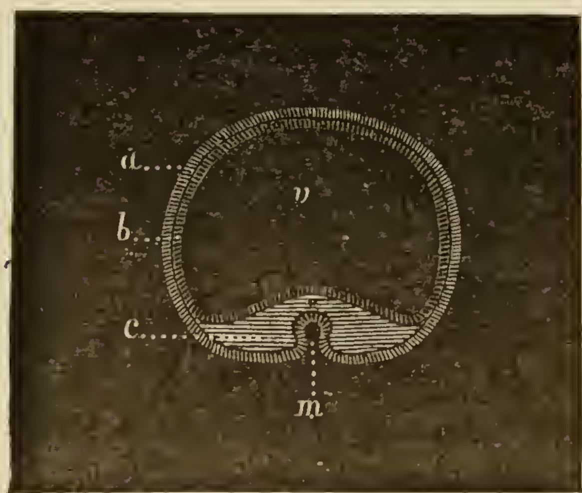


Fig. 30. — Coupe transversale de la tache embryonnaire.

a, feuillet externe ; *b*, feuillet interne ; *c*, feuillet moyen ; *m*, sillon dorsal et, au-dessus, la corde dorsale ; *v*, vitellus.

(1) Dans l'œuf des oiseaux, le jaune seul correspond à l'œuf des mammifères. (Coste.)

bral où va se former la moelle épinière et qui est, comme on le voit, tapissé d'une couche épithéliale, congénère à celle qui forme le feuillet externe. En même temps, on voit apparaître devant le canal vertébral, dans l'épaisseur du feuillet moyen, la *corde dorsale* qui formera la colonne vertébrale du fœtus.

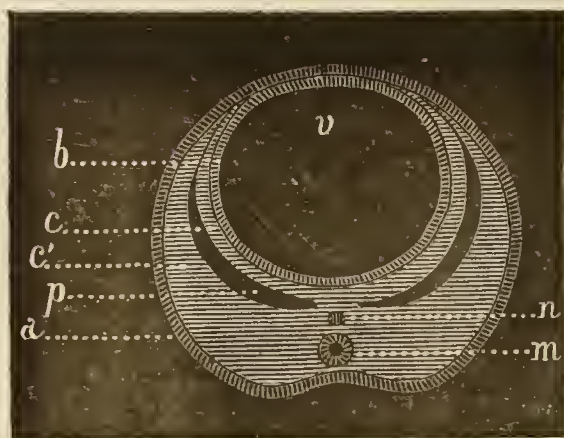


Fig. 31. — Coupe transversale de l'embryon (schéma).
a, feuillet externe; *b*, feuillet interne; *c*, lame intestinale du feuillet moy.; *c'*, lame ventrale du même feuillet; *m*, canal vertébral; *n*, corde dorsale; *p*, cavité péritonéale.

Le feuillet moyen continue à s'étendre de chaque côté, puis il se subdivise lui-même en deux lames, une *lame ventrale* qui double en dedans le feuillet externe et une *lame intestinale* qui recouvre en dehors le feuillet interne; mais à la région qui est située devant la corde dorsale, les deux lames ne se séparent pas et ce point, où le feuillet moyen reste unique, sera le *mésentère* du fœtus. Les deux lames s'épaississent, s'étendent et l'intervalle qui les sépare forme la *cavité péritonéale*.



Fig. 32. — Coupe transversale de l'embryon.
a, *b*, *c*, *c'* — comme ci-dessus; *i*, intestin; *v*, vitellus; *h*, poumon; *f*, foie; *w*, corps de Wolff.

En continuant son développement, la lame intestinale, comprimant, pour ainsi dire, le feuillet interne, tend à diviser sa cavité en deux parties, l'une qui sera l'intestin, l'autre contenant le reste du vitellus et formant une *vésicule ombilicale* destinée à se séparer, puis à disparaître, son contenu étant absorbé

par les vaisseaux qui parcourent déjà le feuillet moyen (*area vasculosa*). L'intestin se trouvera ainsi formé, tapissé par le feuillet interne, qui en forme l'épithélium, et recouvert par la lame ventrale. Mais cette lame ventrale pousse dans la cavité péritonéale, ou plutôt *pleuro-péritonéale*, différents bourgeons dont l'un sera le foie, l'autre le poumon, tandis que les *corps de Wollf*, qui formeront les organes urinaires et génitaux du fœtus, apparaissent sur la lame ventrale de chaque côté de la corde dorsale.

Enfin, pour ne pas prolonger outre mesure cette description, la vésicule vitelline ou ombilicale sera bientôt détruite, l'épithélium interne de l'intestin poussera, dans les bourgeons constituant le foie, les poumons, etc., des prolongements qui formeront l'épithélium du canal cholédoque, des voies aériennes, etc.

A ce moment, le fœtus possède tous les organes nécessaires à sa vie, sans parler des organes placentaires par lesquels s'opère l'hématose du sang du nouvel être et dont nous n'avons pas à nous occuper ici.

L'intestin, désormais fermé, s'allonge vers les deux extrémités antérieure ou céphalique et postérieure ou caudale ; mais, en ces points, le feuillet externe, qui est devenu l'*épiderme*, s'invagine, comme un doigt de gant, dans le feuillet moyen sous-jacent, et va à la rencontre, d'une part, de l'extrémité intestinale antérieure, de l'autre, de l'extrémité intestinale postérieure. Bientôt, ils se rencontrent, la cloison épithéliale, qui les sépare, se résorbe et l'intestin se trouve communiquer à l'extérieur par ses deux bouts ; l'une de ces ouvertures est la bouche, l'autre

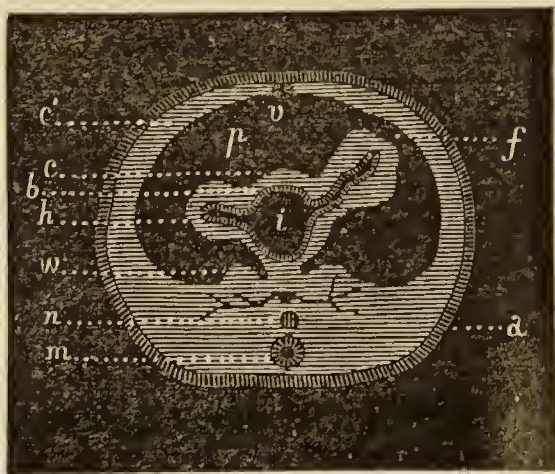


Fig. 33. — Coupe transversale de l'embryon. Les lettres comme dans les figures ci-dessus.

l'anus. D'autres invaginations du feuillet externe formeront de même des productions dites épidermiques, par exemple, le cristallin, l'émail des dents, les glandes de la peau, les follicules pileux.

Ainsi, en résumé, le feuillet externe du blastoderme forme l'épiderme, les produits épidermiques divers que nous venons de citer, l'émail des dents, les glandes de la bouche, celles de la peau, les follicules des poils, le cristallin, etc., puis l'épendyme et les centres nerveux ; le feuillet interne forme l'épithélium de l'intestin et des glandes qui dépendent de l'appareil digestif, l'épithélium pulmonaire et celui des glandes de l'appareil respiratoire ; en un mot, les épithéliums des muqueuses. Quant au feuillet moyen, il donne naissance, par sa lame ventrale, à toutes les parties périphériques du corps, c'est-à-dire aux tissus conjonctif, cartilagineux, osseux, musculaire, aux vaisseaux, du tronc et des membres. Par sa lame intestinale, il donne naissance aux revêtements conjonctif et musculaire de l'intestin, à la charpente du foie, au cœur, aux poumons, etc. (1) Enfin, à la surface des cavités séreuses qui se produisent dans son intérieur, il forme une couche de revêtement, c'est-à-dire ces épithéliums ordinairement composés d'une seule rangée de cellules lamelleuses, et qu'on appelle *endothéliums*. (His.)

Après avoir exposé l'origine des divers épithéliums, nous avons à examiner leur composition générale et leur forme, notions que nous complèterons quand nous traiterons des systèmes physiologiques auxquels chacun d'eux appartient.

On a classé de plusieurs manières les épithéliums, mais au point de vue de leur étude, il est plus commode de les diviser en :

1° *Epithéliums à une seule couche de cellules.* C'est parmi eux

(1) Nous n'avons pas tenu compte dans cette rapide description des organes fœtaux, vésicule séreuse (fausses eaux), revêtement des villosités placentaires, amnios, qui sont formés par le feuillet externe, l'épithélium de la vésicule vitelline, de l'allantoïde, qui sont formés par le feuillet interne.

que se placent les endothéliums formés par le feuillet moyen du blastoderme; toutefois, certains épithéliums à une seule couche ne proviennent pas du feuillet moyen, mais du feuillet interne; tel est l'épithélium pulmonaire. Actuellement, on confond généralement tous les épithéliums à une seule couche de cellules plates sous le nom d'*endothélium*.

2° *Epithéliums pavimenteux stratifiés*, formés, comme leur nom l'indique, de plusieurs couches superposées, mais les cellules de chaque couche peuvent ne pas avoir la même forme. Vue à plat, leur surface représente comme un pavage formé par la projection des cellules.

3° *Epithéliums cylindriques* ou *prismatiques*, formés par des cellules, en général molles, et plus hautes que larges, lesquelles, en se pressant les unes contre les autres, prennent la forme de prismes ou de pyramides, de cylindres ou de cônes, plus ou moins irréguliers. La surface de ces épithéliums présente l'aspect pavimenteux aussi bien que les épithéliums dits spécialement pavimenteux.

4° *Epithéliums à cils vibratiles*, composés de cellules semblables à celles des épithéliums cylindriques, mais dont la surface libre est couverte de cils vibratiles.

5° *Epithéliums glandulaires*. On désigne sous ce nom les couches épithéliales qui tapissent les culs-de-sac glandulaires; mais comme ces épithéliums sont formés par l'invagination de celui qui tapisse la surface, muqueuse ou autre, à laquelle appartient la glande, il n'y a pas lieu d'établir cette distinction.

Toutes les cellules épithéliales, en effet, sont des cellules sécrétantes; celles qui ne font pas partie d'une glande sécrètent du *mucus*, de la *kératine*, etc., etc., etc.,

II

ÉPITHÉLIUMS PAVIMENTEUX

Les épithéliums *pavimenteux* sont les plus répandus chez l'homme, soit qu'ils ne se composent que d'une seule couche de cellules pâles, à noyau très-apparent, vésiculeux, homogène (endothéliums), soit qu'ils comportent plusieurs couches de cellules analogues (épithéliums stratifiés), dans lesquelles les cellules des couches profondes n'ont pas en général la même forme que celles de la couche superficielle.

Ainsi la muqueuse buccale est revêtue d'un épithélium à plusieurs couches, dont les cellules profondes sont régulières,



Fig. 34. — Cellules superficielles de l'épithélium buccal.

allongées selon leur hauteur, prismatiques par la pression latérale; leur diamètre est de 12 à 20 μ. Elles sont plantées perpendiculairement à la surface de la muqueuse sous-jacente;

mais, dans les couches supérieures, elles s'arrondissent, et en se comprimant elles se déforment, deviennent polyédriques; à un fort grossissement, on constate que les plus profondes sont hérissées de petites aspérités épineuses qui s'engrènent les unes dans les autres. Enfin, dans les couches superficielles, les cellules s'aplatissent de plus en plus, parallèlement à la surface de la muqueuse, si bien que les dernières couches ne sont plus que des plaques, contenant encore un noyau et des granulations, plaques qui se détachent continuellement et qu'on trouve dans la salive, flottantes et isolées, ou réunies par deux ou trois. On peut y constater les plis de la membrane d'enveloppe, et mêmes des lignes très-fines, plus foncées, indiquant la trace des soudures des cellules entre elles ou les impressions qu'elles ont produites les unes sur les autres en se comprimant. Leur largeur peut aller alors jusqu'à 80 μ.

L'épiderme de la peau présente une structure analogue, ce que nous savons d'avance, puisque l'épithélium buccal est le produit d'une invagination du feuillet externe, c'est-à-dire de l'épiderme. Nous y trouverons les mêmes cellules disposées perpendiculairement à la surface sous-jacente, hautes d'abord, puis moins hautes et plus larges, avec des dentelures d'engrenage, puis plus plates encore à mesure qu'on procède du fond vers la superficie, puis dégénérant tout à fait, non plus en plaques molles et encore nucléées, mais en lamelles dures, véritables écailles d'une matière endurcie comme de la corne, (kératine), dont le noyau a disparu, et qui forment la *couche cornée* de la peau et se détachent incessamment par desquamation.

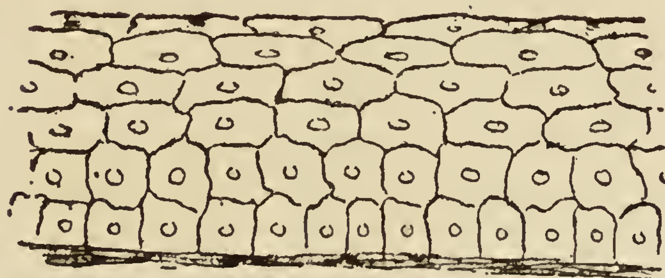


Fig. 85. — Epithélium stratifié.

Le synoviales articulaires, l'appareil urinaire, le pharynx,

la surface interne du tympan, de la dure-mère, sont tapissées d'épithéliums pavimenteux à plusieurs couches.

Quant aux épithéliums à une seule couche, on en trouve à la surface des vésicules pulmonaires, où ils résultent, pour ainsi dire, d'un amoindrissement de l'épithélium stratifié (vibratile) des bronches, dont les couches diminuent de plus en plus, à mesure que les bronches deviennent plus fines, et finissent par se réduire à une seule.

C'est ainsi que les canaux excréteurs des glandes, et même des glandes de la peau, sont souvent tapissés d'un épithélium à une seule couche, par réduction de l'épithélium stratifié dont il procède ainsi que l'épithélium de la glande elle-même.

On trouve un magnifique épithélium pavimenteux à une seule couche, formé de cellules aplaties, hexagonales comme des carreaux de dallage, à la surface interne de la cristalloïde antérieure, et la choroïde est revêtue d'une couche analogue, mais dont les cellules sont remplies de granulations d'un pigment noir comme du charbon ou d'un brun foncé. Ces granulations, lorsque les cellules sont rompues, offrent un mouvement brownien très-actif en se répandant dans le liquide de la préparation.

On trouve aussi des cellules pigmentées dans les épithéliums stratifiés, par exemple, dans les couches les plus profondes de l'épiderme; c'est le pigment déposé dans cette partie qui donne à la peau, surtout chez les personnes brunes et les nègres, sa couleur particulière. Chez les animaux, notamment les Batraciens, on trouve, dans l'épithélium cutané, des cellules pigmentaires isolées, dont les formes étoilées sont fort remarquables. Nous avons déjà dit que le protoplasma de ces cellules est doué d'une propriété contractile assez énergique.



Fig. 36. — Cellule pigmentaire de Batracien.

Les vaisseaux sanguins sont tapissés à l'intérieur d'un endothélium formé de cellules généralement fusiformes, mais à bords plus ou moins irréguliers, tout à fait aplaties, mais contenant un noyau. On peut mettre en évidence

les contours des cellules par l'imprégnation au nitrate d'argent, qui teint en noir le ciment intercellulaire.



Fig. 37. — Épithélium (endothélium) vasculaire.

On trouve, à la surface de toutes les séreuses, des endothéliums plus ou moins analogues, formés de larges cellules plates à bords très-irréguliers ; et même les travées qui composent les différents feuillets des membranes disposées en réseau sont recouvertes de cellules endothéliales des formes les plus variées et que l'imprégnation au nitrate d'argent rend facilement visibles.

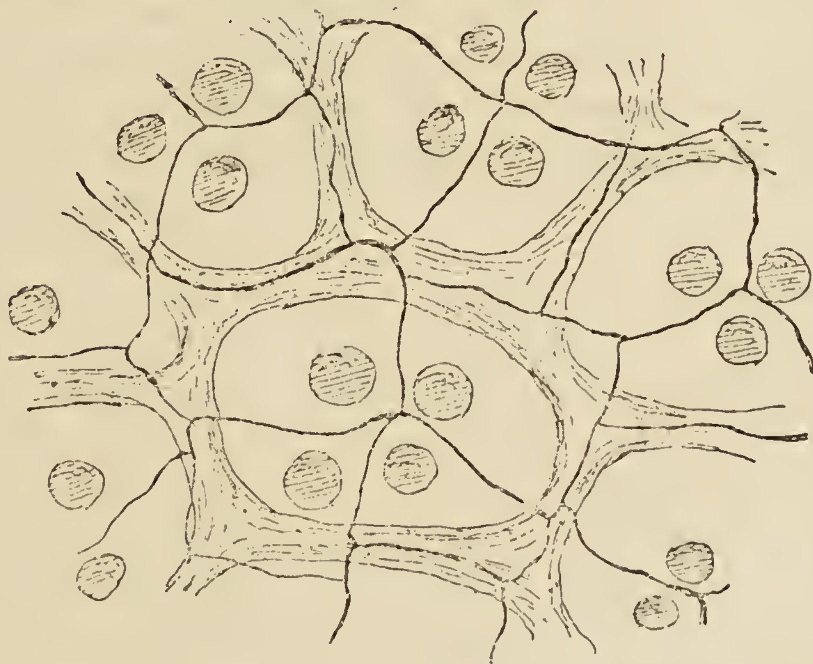


Fig. 38. — Épithélium (endothélium) pulmonaire de la grenouille.

L'épithélium pulmonaire est aussi formé, comme nous l'avons dit, d'une seule couche de cellules plates. Celles-ci ont des formes polygonales irrégulières, mais les noyaux de plusieurs cellules contiguës se rapprochent de la périphérie pour se grouper en nombre variable dans une même maille du réseau capillaire sous-jacent.

III

ÉPITHÉLIUMS CYLINDRIQUES

Les épithéliums dits *cylindriques* ou *prismatiques* sont remarquables en ce que la couche de cellules qui les compose, s'ils n'ont qu'une seule couche, est formée de cellules ordinairement plus hautes que larges, plus ou moins comprimées les unes contre les autres et rappelant la disposition des alvéoles d'un gâteau d'abeilles.

Ces cellules sont donc, en réalité, plutôt prismatiques ou coniques que cylindriques. Elles mesurent en moyenne 24 μ de hauteur sur 8 μ de largeur.

Cette forme, que l'on trouve particulièrement dans les épithéliums qui résultent du feuillet interne du blastoderme, s'observe dans tout l'intestin, depuis le cardia jusqu'à l'anus, à la surface des villosités intestinales et dans les glandes des parois du tube digestif, dans les canaux cholédoque et pancréatique, dans certaines parties des organes génitaux internes.

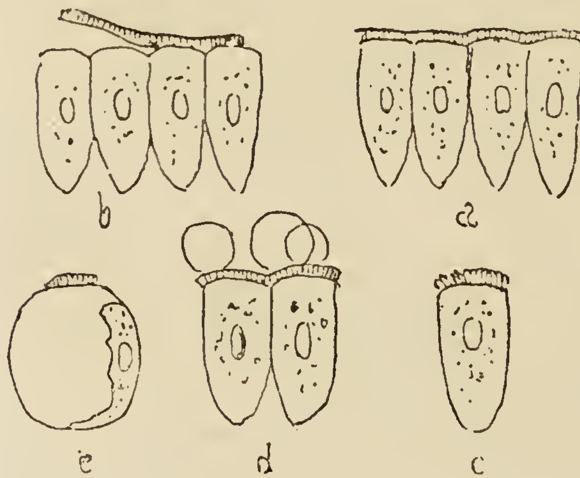


Fig. 39. — Epithélium cylindrique de l'intestin (lapin).

a, état normal; *b*, le plateau se soulève par la macération; *c*, division du plateau en bâtonnets; *e*, cellule gonflée par l'eau; *d*, hernies de la membrane en gouttelettes hyalines.

Lorsqu'on examine la surface de ces épithéliums, on la trouve formée d'un paviment très-élégant, mais dont les éléments sont plus petits et les noyaux plus profonds, en raison de la hauteur ordinaire des cellules, hauteur qui d'ailleurs est très-variable et peut n'être parfois pas beaucoup plus grande que la largeur. Souvent ces cellules, plates à leur surface libre,

sont arrondies ou même pointues et déchiquetées à leur extrémité adhérente à la muqueuse sous-jacente. Elles sont alors comme enchâssées dans une substance intercellulaire plus abondante à la partie inférieure qu'à la partie supérieure où elle est très-mince.

Souvent aussi, la surface libre est recouverte d'une sorte de membrane épaisse qui se prolonge sur toutes les cellules et semble continue (*fig.* 39, *a*). Cette membrane, formée d'une substance albuminoïde, est appelée *plateau*. Elle est distincte de la membrane propre des cellules, car si l'on fait agir l'eau sur l'épithélium et qu'on exerce quelque pression sur la lamelle, le plateau peut se détacher sur une certaine longueur (*fig.* 39, *b*). De plus, l'eau, en pénétrant par endosmose dans la cellule, la gonfle comme un ballon pendant que le protoplasma et le noyau, qui ne se gonflent ni ne se dissolvent, restent appliqués à l'intérieur sur un des côtés de la membrane de cellule. En même temps, le plateau qui ne s'est pas distendu, reste fixé comme une calotte devenue trop petite sur la cellule distendue qui souvent finit par crever (*e*). D'autres fois, les cellules, ne se dissociant pas, ne peuvent se gonfler, mais l'eau n'en pénètre pas moins; la membrane cellulaire fait alors hernie à la surface libre, par les interstices des cellules et des plateaux, sous forme de gouttelettes rondes et transparentes comme des perles (*d*).

Enfin, en examinant le plateau, après l'action de l'eau, avec de forts grossissements sur des coupes perpendiculaires à la surface de la muqueuse, on reconnaît qu'il est strié et comme percé de petits canalicules allant de la membrane de la cellule à la surface libre du plateau. On n'a pu reconnaître encore si ces canalicules pénètrent jusque dans la cellule; quoi qu'il en soit, les canalicules du plateau clivent souvent, par la macération, le plateau en petites travées perpendiculaires à la surface de la cellule et qui forment autant de bâtonnets (*fig.* 39, *c*.)

Ces détails de constitution du plateau et des cellules cylindriques s'observent très-bien sur des préparations colorées au bleu d'aniline qui teint d'abord, en bleu intense, la couche inférieure du plateau, ou plutôt la zone de la cellule placée immédiatement au-dessous du plateau.

Cette méthode de coloration permet de reconnaître avec facilité, parmi les cellules à plateau de l'épithélium intestinal, d'autres cellules qui ont la forme d'une urne ou d'un vase plus ou moins pansu, ouvert au niveau du plateau, et terminé, en bas, par une extrémité plus ou moins pointue, près de laquelle se trouve le noyau. Ces cellules, dites *caliciformes*, sécrètent un mucus que l'on voit former un petit nuage au-dessus de leur embouchure, à la surface de l'épithélium. Quand on examine cet épithélium à plat, on voit, au milieu du pavi-ment formé par les cellules ordinaires, des cercles qui, sur un plan un peu plus profond, sont entourés d'un autre cercle un peu plus grand. Chaque petit cercle est l'orifice d'une cellule caliciforme et le cercle enveloppant est la projection de sa panse.

Ces cellules paraissent se trouver dans tous les épithéliums et peuvent résulter de la rupture des cellules ordinaires de ces épithéliums qui émettraient ainsi, par abcédation, le mucus produit de leur secrétion.

IV

ÉPITHÉLIUMS A CILS VIBRATILES

Les épithéliums à cils vibratiles sont formés d'une ou de plusieurs couches de cellules dont les plus superficielles, semblables quant à la forme à celles des épithéliums cylindriques, sont munies à leur surface libre de cils plus ou moins longs qui, pendant la vie de la cellule, sont animés d'un mouvement vibratile énergique, capable de déplacer violemment tous les corpuscules, même d'un volume relativement considérable, avec lesquels ils se trouvent en contact.

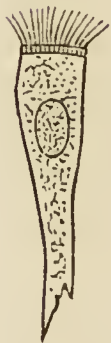


Fig. 40. — Cellule vibratile isolée.

Lorsque ces épithéliums sont composés de plusieurs couches, les cellules de la rangée superficielle sont seules munies de cils. Les autres

n'ayant pas de surface libre, n'ont pas de cils et affectent des formes arrondies ou polyédriques par pression réciproque.

On ne trouve, chez l'homme, de cils vibratiles que sur des cellules cylindriques; mais, chez les animaux inférieurs et chez les Mollusques, on voit des cellules arrondies munies de cils vibratiles.

D'ailleurs, ces épithéliums recouvrent la muqueuse des organes respiratoires (sauf les cordes vocales), jusqu'aux plus fines ramifications bronchiques, en diminuant d'épaisseur et en perdant successivement les couches inférieures non vibratiles, pour se réduire à la couche superficielle munie de cils (mais nous savons que l'épithélium, à une seule couche, des vésicules pulmonaires est encore plus réduit, qu'il a perdu ses cils et n'offre plus qu'une simple couche de forme endothéliale). La muqueuse nasale (sauf la *région olfactive*, qui est couverte d'un épithélium cylindrique), les cavités de l'organe de l'olfaction, les trompes utérines, l'utérus jusqu'à la moitié de la longueur du col, les canaux déférents, une partie de l'épididyme, etc., sont tapissés de cellules vibratiles, c'est même dans cette dernière région que ces éléments présentent, chez l'homme, les plus grandes dimensions.

Chez le nouveau-né, les cavités du cerveau, de la moelle, sont revêtues d'épithéliums vibratiles qui ne persistent qu'en certains points chez l'adulte, notamment dans l'épendyme. La trompe d'Eustache, la caisse et la membrane du tympan sont tapissées des mêmes éléments.

Il est facile d'étudier les cellules vibratiles en mouvement sur un petit fragment du pharynx de la grenouille dans une goutte de lymphe ou d'humeur aqueuse du même animal, ou sur un lambeau des branchies d'une moule, d'un cardium, d'une huître, dans le liquide contenu dans la coquille. Ces mouvements, qui se produisent en crochet, en cône ou en zigzag ondulant, se conservent souvent très-longtemps, même dans l'eau pure (1), surtout chez les Mollusques, où on peut l'observer parfois

(1) Sur le cadavre, les mouvements des cils vibratiles peuvent souvent être observés 36 heures après la mort.

pendant 24 heures. Quelques cellules isolées nagent souvent dans la préparation en exécutant des mouvements désordonnés, comme de véritables Infusoires. Les acides, certains réactifs, quelques matières colorantes les tuent plus ou moins rapidement, après quoi la cellule se colore (mais non les cils). Le carmin ammoniacal non-seulement n'abrége pas leurs mouvements, mais il les excite en raison de l'alcali qu'il contient.

Mais si l'on fixe les éléments dans leur forme à l'aide d'un réactif brusque, l'alcool, par exemple, puis, qu'on colore à l'aide du bleu d'aniline, on observe que les cellules vibratiles sont munies d'un plateau strié et qui semble, sous un grossissement suffisant, composé de courts bâtonnets ou de grains paraissant continuer les cils dans l'épaisseur du plateau (mais ici, contrairement à ce qui se passe sur les cellules à plateau de l'épithélium cylindrique, c'est le plateau qui se colore en dernier). Marchi a supposé même que les cils pénètrent dans la cellule et qu'ils sont une dépendance du noyau. Beaucoup d'histologistes les considèrent comme des émanations du protoplasma qui traverseraient la membrane et le plateau (1).

Par le même mode de préparation, on reconnaît que ces cellules, aussi bien que celles de l'épithélium cylindrique, se terminent souvent à leur base d'insertion par une pointe irrégulière, parfois dentelée ou même ramifiée. Le noyau y apparaît nettement, ovalaire, au milieu d'un protoplasma finement granuleux (*fig.* 40).

Les cellules vibratiles ont chez l'homme 15μ de longueur dans la trachée ; les cils ont 1μ d'épaisseur et de 2 à 5 de hauteur. On en compte de 10 à 30 sur chaque cellule. Dans l'épididyme, les cellules ont jusqu'à 50μ de long avec des cils hauts de 20μ.

Ajoutons que l'influence de l'air est nécessaire aux mouvements des cils vibratiles comme à ceux des cellules lymphatiques. La chaleur les accélère, mais une température de 45 à

(1) Le plateau manque dans les cellules vibratiles mortes qu'on trouve dans le mucus clair du coryza commençant, et les cils paraissent implantés sur le protoplasma, ou en sortir.

50° tue les éléments. Les alcalis faibles excitent les mouvements, mais les acides les arrêtent promptement.

En examinant la surface d'un épithélium vibratile vivant, on observe un mouvement qu'on a depuis longtemps comparé aux ondulations d'un champ de blé sous un coup de vent. Mais que le mouvement individuel de chaque cil se fasse en crochet, en cône ou en ondulation, l'impulsion générale donnée aux corps que les liquides ambiants amènent à la surface de l'épithélium se produit toujours dans le même sens. C'est ainsi que les cils vibratiles de la muqueuse nasale poussent incessamment les mucosités ou les poussières vers le pharynx; ceux des voies spermatiques chassent les spermatozoïdes au dehors; ceux des trompes utérines portent les ovules vers l'utérus où les cils de l'utérus les poussent vers le col.

La rapidité du mouvement des cils vibratiles a été évaluée à 12 contractions par seconde (Foster).

V

ÉPITHÉLIUMS DITS GLANDULAIRES

Nous devons ajouter ici quelques mots sur les épithéliums qu'on a appelés *glandulaires*, parce qu'ils s'enfoncent dans les culs-de-sac des glandes et en tapissent la cavité.

Nous avons déjà indiqué comment l'épithélium intestinal, en enfonçant un prolongement tubulaire, bientôt ramifié, dans la substance du bourgeon formé sur la paroi externe de la lame intestinale du feuillet blastodermique moyen, bourgeon qui sera le foie, ou le pancréas, ou le poumon, y constitue l'épithélium des canaux excréteurs des glandes hépatique ou pancréatique, et, en se couvrant de cils vibratiles, l'épithélium des voies aériennes. Mais l'épithélium de l'intestin, aussi bien que l'épithélium extérieur, ou l'épiderme, soit en s'invaginant dans le tissu sous-jacent, soit en y enfonçant un bourgeon formé de cellules épithéliales proliférantes, bourgeon dont l'axe se transforme plus tard en cavité par la destruction

des cellules centrales, peuvent produire un grand nombre d'organes analogues, quoique considérablement plus petits. Et en effet, la peau, le tube digestif, les voies respiratoires, en un mot, toutes les muqueuses sont criblées de petites glandes de cette nature.

Quant aux membranes séreuses, c'est-à-dire celles qui forment les cavités closes, le péritoine, le péricarde, la plèvre, etc., et que tapissent les épithéliums plats, ou endothéliums, formés par le feuillet moyen du blastoderme, si elles ne forment pas de glandes par un procédé analogue, elles se creusent de pores où pénètre aussi leur endothélium, ou de citernes dans lesquelles s'abouchent les vaisseaux lymphatiques tapissés encore de cet endothélium, dont les cellules s'allongent suivant l'axe du vaisseau. Ces citernes et ces vaisseaux continuent donc les cavités séreuses, comme la cavité des glandes de l'intestin ou de la trachée continue celle du tube digestif ou des voies aériennes.

Les glandes seront donc des cavités plongées dans l'épaisseur de la couche de tissu sous-jacente à un épithélium. Cette couche est toujours composée d'un tissu particulier que nous étudierons bientôt, le *tissu conjonctif*, formé lui-même de faisceaux de fibres appelées *fibres conjonctives*, d'autres fibres spéciales appelées *fibres élastiques* et de cellules plates, d'apparence endothéliale, les *cellules conjonctives*. Ce tissu conjonctif forme autour du bourgeon épithélial plongeant, ou de l'invagination épithéliale, une couche plus ou moins mince de faisceaux et de fibres condensés, comme par la pression de cette invagination même, en une membrane qui l'enveloppe. C'est la *membrane propre* de la glande, autour de laquelle le tissu conjonctif, jusqu'à une certaine distance, reste souvent plus dense qu'il ne l'est un peu plus loin, parfois même jusqu'à former comme une seconde enveloppe feutrée qu'on pourra appeler *membrane conjonctive* ou *adventice*, laquelle peut d'ailleurs manquer complétement.

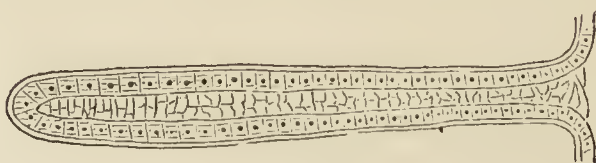


Fig. 41. — Glande en tube (follicule simple).

L'épithélium recou

vre la membrane propre de la glande en dedans de sa cavité, laissant le plus souvent une lumière centrale; quelquefois il ne se modifie pas (*fig.* 41), quelquefois il se transforme (*fig.* 42). Ses cellules se gonflent, deviennent sphéroïdales, surtout si elles sont douées d'une grande activité de sécrétion. Les éléments de cette sécrétion sont d'ailleurs fournis par un réseau de vaisseaux capillaires sanguins, réseau plus ou moins riche suivant que la glande est plus ou moins active, et qui se répand dans le tissu cellulaire environnant, jusque sur la membrane propre à travers laquelle les cellules glandulaires puisent dans le plasma sanguin.

Soit qu'il reste sans transformation, soit qu'il devienne sphéroïdal, l'épithélium, en s'invaginant, reste appliqué à la surface de la membrane conjonctive qui forme le sac de la glande; mais s'il provient d'un bourgeon épithélial qui a proliféré en profondeur, les cellules s'entassent pêle-mêle dans le cul-de-sac, et la cavité de la glande est formée par la destruction des cellules du centre. La sécrétion paraît résulter alors de la destruction même de ces cellules qui rejettent leur produit par abcédation, tandis qu'elles sont incessamment remplacées par la multiplication des cellules situées au-dessous. C'est ainsi que fonctionnent les glandes sébacées et, en général, toutes celles dont la sécrétion est une matière grasse, les cellules se remplissant peu à peu de graisse, puis crevant bientôt pour déverser leur matière grasse, avec leurs débris cellulaires, dans la cavité de la glande.

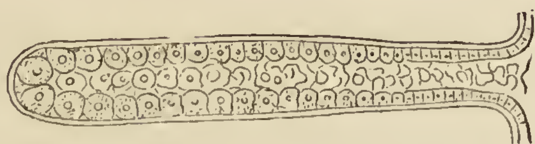
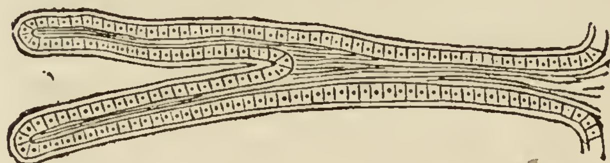


Fig. 41. — Glande en tube (follicule à suc gastrique).

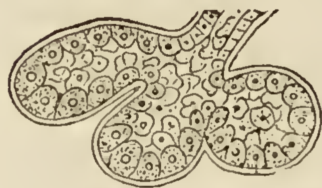
En général, plus le liquide sécrété par une glande diffère du mucus produit par l'épithélium dont elle procède, plus les cellules glandulaires se modifient dans le fond de la cavité ; mais cette modification se fait peu à peu, et les cellules qui garnissent l'entrée de la cavité sont identiques à celles de l'épithélium environnant, puis elles se transforment petit à petit, formant un *épithélium de transition*, devenant polyédriques, sphériques,etc.,

en même temps qu'elles augmentent de volume et présentent un aspect spécial suivant la nature de leur sécrétion.

L'invagination ou le bourgeon de l'épithélium peut se faire tout droit, comme un tube. On aura ainsi une *glande en tube.* (*fig.* 41, 42) ou *follicule.* Le tube pourra rester *simple* et se pelotonner en glomérule, comme dans les glandes sudoripares, ou bien se ramifier (*fig.* 43), et l'on aura une *glande* en tube ou *follicule composé.* Telles sont les glandes muqueuses de l'estomac, dont l'épithélium, resté cylindrique dans toute l'étendue de la glande, représente, presque sans modifications, celui de l'intestin, et dont le produit est un mucus acide. Dans les follicules composés de l'estomac qui produisent la pepsine, les cellules se modifient et deviennent sphéroïdales dans les culs-de-sac glandulaires. Le tube, à sa partie supérieure, constitue le *conduit excréteur* dans lequel s'abouchent tous les culs-de-sac de la glande qui peuvent être fort nombreux.


Fig. 43. — Follicule composé.

Mais au lieu de se présenter sous forme de tubes, les culs-de-sac de la glande, ramifications du tube primitif, peuvent affecter une forme arrondie, d'où résulte pour la glande l'aspect d'une grappe dont tous les grains sont un cul-de-sac, ou *acinus*, ouvrant sa cavité dans le canal excréteur commun ou dans des canaux secondaires qui vont s'ouvrir dans le conduit excréteur commun (*fig.* 44). Telles sont les glandes de Brunner.


Fig. 44. — Fragment de glande en grappe.

Entre ces deux formes-types, on trouve d'ailleurs des dispositions intermédiaires.

Le conduit excréteur peut être très-long ou très-court relativement au volume de la glande.

Quant au procédé par lequel s'opère le rejet dans la cavité de la glande du produit de la sécrétion, quoiqu'il ne soit pas toujours exactement connu, on sait cependant que, dans certains

cas, il consiste en la rupture des cellules glandulaires qui épanchent ainsi leur contenu. On trouve alors dans la cavité la matière sécrétée avec un plus ou moins grand nombre de noyaux qui proviennent sans doute de la destruction des cellules.

Dans d'autres cas, les cellules paraissent ne pas se rompre mais exsuder, pour ainsi dire, une partie de leur contenu dans la cavité, par exosmose, ou par suite d'une différence entre leur pression intérieure et celle du milieu extérieur contenu dans la cavité.

VI

RÔLE DES ÉPITHÉLIUMS

De tout ce que nous avons dit il résulte que les épithéliums, les premiers tissus qui se forment dans l'embryon, constituent d'abord des couches de revêtement sur toutes les surfaces, peau, muqueuses, séreuses. Mais ce ne sont pas des couches inertes, car c'est par leur intermédiaire que s'opère l'échange, nécessaire à leur nutrition, entre les tissus et les éléments du plasma, l'excrétion de ceux de ces éléments qui sont désassimilés, et, en même temps, la sécrétion de divers produits nécessaires à l'accomplissement des différentes fonctions de l'organisme. C'est ainsi que l'épithélium des villosités intestinales absorbe, pour les transmettre aux chylifères, les matériaux du chyle, que l'endothélium des vaisseaux sanguins transmet à tous les tissus l'oxygène des globules rouges ; que l'épithélium du rein extrait du sang les principes constituants de l'urine. Pendant ce temps, d'autres épithéliums, en se modifiant légèrement, et se protégeant dans des renfoncements du tissu conjonctif sous-jacent pour constituer des glandes, fabriquent avec les matériaux du même plasma, les uns du mucus, les autres des acides, d'autres encore de la pepsine, de la matière glycogène, de la bile, de la pancréatine, de la graisse, certains éléments du sperme, etc.

Ainsi, chaque épithélium choisit, dans le plasma lymphatique

ou sanguin, les principes qui lui conviennent, soit pour les transmettre, soit pour les élaborer, les emmagasiner ou les rejeter sous forme de secrétion ou d'excrétion. Une expérience curieuse, rapportée par M. Colin, prouve d'une manière saisissante ce rôle électif rempli par les épithéliums. Il ne s'agit, il est vrai, que d'un seul type, et un type végétal, l'épiderme qui revêt l'extrémité des radicelles des plantes, mais le fait n'en est pas moins remarquable : si l'on prépare une solution contenant une certaine quantité de sels minéraux divers, qu'on la divise en plusieurs parties égales et que dans chaque partie on plonge une plante différente munie de ses racines intactes, au bout d'un temps suffisant, la moitié du liquide contenu dans chaque vase aura été absorbée par les racines. Si l'on fait alors l'analyse du liquide restant, on trouve qu'un *Polygonum* aura absorbé 15 grammes de chlorure de potassium, 13 grammes de chlorure de sodium, 12 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque, 8 grammes d'acétate de chaux, etc., — bien que ces sels existassent dans la solution en quantité égale. L'épithélium du polygonum a donc choisi les éléments qui lui convenaient et en proportions déterminées. Une autre plante aura choisi d'autres sels et en d'autres proportions. Mais si l'on coupe les racines, et que l'on plonge la tige des plantes dans des solutions identiques, il n'y a plus d'épithélium radiculaire pour opérer l'élection, et l'absorption se fait d'une manière indifférente, les liquides montent en nature, par capillarité, dans les vaisseaux des plantes.

Les épithéliums vibratiles ont, en outre, une fonction spéciale que nous avons décrite, celle de diriger dans un certain sens les corps solides ou liquides auxquels peut se transmettre le mouvement de leurs cils.

Quant au développement de ces tissus si remarquables, lesquels se régénèrent certainement, pour quelques-uns au moins, pendant la vie de l'adulte, on ne peut jusqu'à présent faire que des hypothèses. Car il est constant que l'épiderme se desquamme incessamment par sa surface, aussi bien que l'épithélium buccal, celui des voies aériennes, urinaires, etc.; il est donc probable que les cellules des couches profondes se multiplient

pour remplacer les cellules superficielles usées et disparues, bien qu'on n'ait pu encore trouver dans leur étude histologique aucune preuve de multiplication, ni cellules à deux noyaux, ni noyaux bourgeonnants. Mais il n'en est pas de même chez les embryons et dans les cas de prolifération pathologique des épithéliums *(épithéliômes)*. Chez l'embryon on trouve dans la couche profonde de l'épiderme *(couche muqueuse de Malpighi)* des cellules à nucléole bourgeonnant ou étranglé, des cellules à deux noyaux, qui sont manifestement en voie de multiplication. Le même fait se présente sur les épithéliômes lobulés (Virchow) et on le voit encore plus nettement sur les cellules pigmentées de la couche externe de la rétine (embryon).

De plus, au fond des acini de certaines glandes (glandes salivaires), on remarque, entre la membrane propre et son revêtement épithélial, de petits amas de cellules, formant en ce point une petite calotte, et, sur la coupe optique, un croissant *(croissant de Gianuzzi)*, qui peuvent être des cellules destinées à remplacer celles de l'épithélium glandulaire au fur et à mesure de leur destruction.

Nous reviendrons plus loin sur les caractères propres de chaque épithélium, en étudiant l'appareil physiologique auquel il appartient.

PRÉPARATION

On peut étudier les épithéliums en dissociant les cellules qui les composent, pour examiner celles-ci isolément après les avoir fixées dans leur forme, ou bien en les conservant intacts pour reconnaître le mode d'agencement des cellules.

Pour dissocier les cellules, on emploiera le sérum iodé, l'alcool au tiers, dans lesquels on plonge des fragments de tissus recouverts de l'épithélium qu'on veut étudier, pendant deux à trois jours dans le sérum (qu'on renforce avec de nouveau sérum iodé à mesure qu'il se décolore), pendant 12 à 24 heures dans l'alcool au tiers. On râcle, avec un scalpel, de petits lambeaux d'épithélium qui se détachent et qui se dissocient quand

on les agite, avec une aiguille, sur une lame de verre dans une goutte de sérum. Les cils des cellules vibratiles sont colorés en jaune par l'iode. On peut, d'ailleurs, après l'action du sérum, colorer les éléments par le picrocarminate, qu'on remplace au bout de quelques minutes par la glycérine.

La peau peut être préparée, par le sérum iodé, mais il faut, après l'action de ce liquide, la couper en petites tranches très-minces, perpendiculairement à la surface, et dissocier ensuite ces petites tranches sur la lame de verre avec les aiguilles. (Voir plus loin *préparation de la peau*).

L'alcool au tiers agit plus vite. Au bout de 12 à 24 heures, on retire les tissus de l'alcool et on peut les colorer par le picrocarminate, ou par le bleu d'aniline soluble dans l'eau, qui donne des belles préparations, mais peu stables. On obtient, par ce procédé, des préparations très-démonstratives des cellules vibratiles, qu'on peut prendre sur le larynx des petits Mammifères ou de la grenouille, et de l'épithélium cylindrique de l'intestin des mêmes animaux avec les cellules caliciformes.

L'acide chrômique (à 1 à 2 pour 10,000), les bichrômates de potasse ou d'ammoniaque (à 1 ou 2 pour 1000) peuvent être employés de même.

La potasse à 40 pour 100 s'emploie pour les tissus durs et cornés, l'épiderme, les poils, les ongles ; elle doit agir pendant longtemps. Mais pour les poils et les ongles, il est plus commode de les chauffer sur une lame de verre, dans un peu d'acide sulfurique ordinaire, et de les dissocier ensuite en pressant dans divers sens sur la lamelle.

Les cellules épithéliales étant des éléments délicats, il faut presque toujours employer, pour pouvoir en reconnaître tous les détails, de forts grossissements, de 300 à 600 diamètres.

Pour reconnaître l'agencement des cellules, on peut étudier la surface de lambeaux épithéliaux après une imprégnation au nitrate d'argent, qui marque la limite des cellules, ou des coupes perpendiculaires après durcissement.

On pratique l'imprégnation en arrosant les surfaces, tendues sur une lame de liége et fixées solidement par des épingles, avec une solution à 1 pour 300 de nitrate, après

qu'on les a lavées avec de l'eau distillée prise dans une pipette. La solution d'argent est déposée goutte à goutte, et quand la surface devient opaline, l'imprégnation est opérée. On lave légèrement à l'eau distillée et on monte la préparation dans la glycérine qui rend tout transparent et ne laisse voir que les divisions intercellulaires, — ou dans le baume. — Il faut, dans ce dernier cas, déshydrater la membrane en la plongeant, encore tendue, dans l'alcool ordinaire, puis l'alcool absolu ; on ajoute une goutte d'essence et on monte dans le baume par le procédé ordinaire.

Pour l'étude des endothéliums vasculaires, on peut opérer en injectant dans les vaisseaux une solution de nitrate d'argent ou un mélange de cette solution et de gélatine. Nous y reviendrons en traitant des préparations du système vasculaire.

L'endothélium pulmonaire de la grenouille fournit une intéressante préparation que l'on peut effectuer en insufflant, avec une pipette introduite dans la glotte de l'animal, une solution d'argent à 1 pour 300, après avoir ouvert la cavité abdominale. Les poumons distendus font hernie et brunissent à la lumière. On les enlève, pour les ouvrir sous l'eau distillée et on en étale de petits fragments sur une lame de verre. On peut aussi insuffler de l'air après avoir fait sortir le liquide de l'imprégnation en pressant sur les poumons, puis on les lie à la base et on les fait sécher rapidement. On en détache de petits fragments que l'on monte dans le baume après les avoir éclaircis par l'essence.

On peut colorer les préparations par le picrocarminate après l'action du nitrate d'argent.

Quand on veut pratiquer des coupes, il faut durcir les tissus en les plongeant par petits morceaux dans l'alcool absolu, après les avoir étendus sur une lame de liége avec des épingles. On peut aussi distendre l'intestin des petits animaux en y insufflant de l'alcool absolu, avec une pipette, au-dessus d'une première ligature. L'intestin se gonfle et on applique une seconde ligature sous le bec de la pipette ; on sépare ainsi une petite vésicule distendue par l'alcool, entre les deux ligatures, et on la plonge dans l'alcool absolu qui complète le durcissement en

une heure. On peut pratiquer des coupes qu'on reçoit dans l'alcool et qu'on colore par le picrocarminate sans les laver, ou bien dans l'hématoxyline après les avoir lavées.

L'acide chrômique (1 à 2 p. 1,000) et les bichrômates s'emploient aussi, surtout pour les tissus glandulaires. Il faut 15 à 30 jours pour que l'action soit produite, encore doit-on souvent compléter le durcissement par l'alcool, après un lavage de 48 heures dans l'eau phéniquée.

L'acide osmique à 1 p.100, l'acide picrique donnent dans certains cas de bons résultats. Ce dernier fournit de bonnes préparations des glandes. Il faut réduire les tissus en fragments de de 2 ou 3 millimètres de côté, les soumettre à l'action de l'acide picrique pendant 24 à 48 heures. On peut compléter le durcissement par l'alcool, mais il vaut, en général, mieux s'en passer. On colore par le picrocarminate. Les glandes salivaires (sous-maxillaires) se prêtent très-bien à ce mode de préparation et montrent nettement les croissants de Gianuzzi. Il faut les examiner dans du picrocarminate dilué, et non dans la glycérine qui rétracte les éléments, ou au moins dans de la glycérine très-étendue.

CHAPITRE IV

TISSU CONJONCTIF

I

LE TISSU CONJONCTIF EN GÉNÉRAL

Bichat avait désigné sous le nom de *tissu cellulaire* la substance qui enveloppe tous les organes, « leur servant en même temps et de lien qui les unit et de corps intermédiaire qui les sépare ». C'est de cette idée de substance unissante que se sont emparés les histologistes modernes lorsqu'ils ont désigné cette substance sous le nom de *tissu conjonctif*, ou *connectif*.

En continuité directe avec le squelette osseux, le tissu conjonctif le complète, pour ainsi dire, en pénétrant dans tous les organes, auxquels il constitue une charpente résistante mais flexible et une enveloppe protectrice, soutenant ainsi et modelant sous une forme déterminée leurs éléments délicats, cellules ou fibres, qui sans lui ne sauraient résister aux moindres violences.

Les histologistes allemands ont rangé les tissus conjonctif, cartilagineux et osseux dans une même famille et les ont appelés *tissus de substance conjonctive*, les considérant comme formés des divers états d'endurcissement d'une même substance, la *substance conjonctive* (Reichert).

Nous ne nous arrêterons pas à examiner le plus ou moins de justesse de cette hypothèse et nous décrirons successivement les caractères histologiques de ces trois ordres de tissus.

Le tissu conjonctif joue dans la structure du corps des animaux supérieurs et de l'homme un rôle très-important. Servant d'enveloppe à tous les organes qu'il sépare en les unissant, tantôt il forme des couches épaisses plus ou moins diffuses et lâches, c'est le tissu *conjonctif lâche* ou *diffus* (Ranvier) ; tel est celui qui double l'épiderme et donne à la peau sa solidité, le

tissu conjonctif sous cutané; tantôt il s'étend en lames ou en feuillets d'une extrême minceur, formant des membranes, telles que les membranes séreuses, le péritoine, le péricarde, ou les aponévroses ; constituant aux muscles des attaches sur les os, il s'étend en cordons plus ou moins épais et d'une grande force, les tendons; formant la charpente ou *stroma* des organes parenchymenteux, il constitue une sorte de réseau, croisé dans tous les sens, dont le tissu particulier de ces organes remplit tous les interstices, de telle sorte, que si l'on suppose que ce dernier tissu soit enlevé, le stroma conjonctif conserverait encore la forme de l'organe; on peut alors le désigner sous le nom de tissu *conjonctif modelé* (Ranvier).

Les éléments qui composent ces différentes sortes de tissu conjonctif sont essentiellement les mêmes, quoique souvent ils se modifient dans leur forme, dans leur dimension, dans leurs proportions respectives ou dans leurs rapports. On peut d'ailleurs trouver entre elles toutes les formes intermédiaires.

II

ÉLÉMENTS DU TISSU CONJONCTIF

Si nous examinons d'abord le tissu conjonctif lâche tel qu'on le trouve, par exemple, sous la peau, nous reconnaîtrons facilement, grâce à une expérience fort simple, qu'il n'est pas composé de cellules, comme le croyait Bichat, mais d'une sorte de feutrage formé de faisceaux de fibrilles de diverses sortes entremêlées les uns dans les autres et laissant entre eux des lacunes communicantes.

En pratiquant, dans la face inférieure d'un morceau de peau fraîche et maigre, une injection interstitielle avec une seringue hypodermique remplie d'une solution de picrocarminate ou mieux de blanc d'œuf coloré par l'acétate de rosaniline, on remarque qu'il se produit, tout autour de la piqûre, une boule d'œdème. Le liquide ne se répand pas en diffusant comme il le ferait dans un amas de cellules communicantes, mais remplit les lacunes dans lesquelles il pénètre et, à la limite, il refoule par la pression et applique les uns contre les autres les fais-

ceaux de ce tissu, de manière qu'ils forment comme une membrane qui arrête momentanément l'injection. Si l'on continue à pousser, l'effort de cette nouvelle pression fait passer le liquide à travers les interstices de cette sorte de membrane et, l'effet allant se reproduire plus loin, dans tous les sens, la boule grossit mais ne diffuse pas.

Si l'on incise avec des ciseaux cette boule d'œdème, on la voit remplie d'un feutre rosé, formé par les faisceaux entrelacés. En prenant une très-petite partie de ce feutrage et la portant rapidement sur une lame de verre, préparée d'avance, le recouvrant et l'examinant au microscope, on reconnaît qu'il est composé d'un grand nombre de faisceaux onduleux, finement striés longitudinalement, ce sont les *faisceaux conjonctifs* ou *connectifs* (1) ; puis de fibres beaucoup plus fines, très-réfringentes, dont les deux bords sont très-nets et parallèles, généralement onduleuses aussi et anastomosées, ce sont les *fibres élastiques;* enfin de grandes cellules plates, irrégulières qui, de profil, paraissent fusiformes et très-effilées, ce sont les *cellules conjonctives* (Ranvier).

Ajoutons qu'on trouvera presque toujours dans la préparation des cellules lymphatiques en plus ou moins grand nombre et souvent des cellules remplies d'une ou de plusieurs gouttes de graisse, facilement reconnaissables à la réfringence particulière de leur contenu ; ce sont des *cellules adipeuses.*

Faisceaux connectifs : (*fig.* 45). Ces faisceaux dont la largeur varie de 2 à 30 ou 40 μ sont, nous l'avons dit, onduleux, striés dans toute leur longueur, ce qui leur donne l'aspect d'une queue de cheveux, surtout si l'on a fait la préparation à l'aide d'une injection interstitielle de sérum iodé. Ils semblent donc constitués par une sorte de paquet de fibrilles parallèles; de là, le nom de *faisceaux* qu'on leur a donné.

Et ce n'est pas là une simple apparence, ce ne sont pas des plis de la surface ou une sorte de dessin de cette surface qui leur donne cet aspect. Car, si l'on fait macérer un petit frag-

(1) On désigne aussi, souvent, les faisceaux conjonctifs sous le nom de *fibres lamineuses.*

ment de tendon, (c'est-à-dire d'un tissu conjonctif composé de faisceaux tous parallèles) dans une solution saturée d'acide picrique ou d'acide osmique à 1 p. 100, on peut ensuite le dissocier avec les aiguilles en fibrilles d'une extrême ténuité (1).

De plus, avec un grossissement de 1000 diamètres, on peut observer les deux bords de ces fibrilles et reconnaître qu'elles sont cylindriques. Mais un phénomène très-remarquable se produit quand on ajoute à une préparation de tissu conjonctif, une goutte d'acide acétique dilué. Si les éléments n'ont pas été colorés, les faisceaux conjonctifs disparaissent et les fibres élastiques seules restent visibles. Les premiers, en effet, se sont gonflés, ont perdu toute leur réfringence relative et sont devenus absolument transparents. Mais, en saturant l'acide par une goutte d'un alcali, ils reviennent à leur forme première; ils n'ont donc été que gonflés et modifiés dans leur action sur la lumière, mais non détruits ni même dissous. Si l'on a opéré sur une préparation colorée au picrocarminate, les faisceaux connectifs, tout en se gonflant, restent visibles et l'on remarque que leur gonflement n'est pas uniforme, qu'ils sont étranglés en certains points par un ou deux tours d'une *fibre annulaire* qui leur fait comme une étroite ligature; et de l'ensemble résulte l'aspect d'un chapelet de saucisses (*fig.* 46).

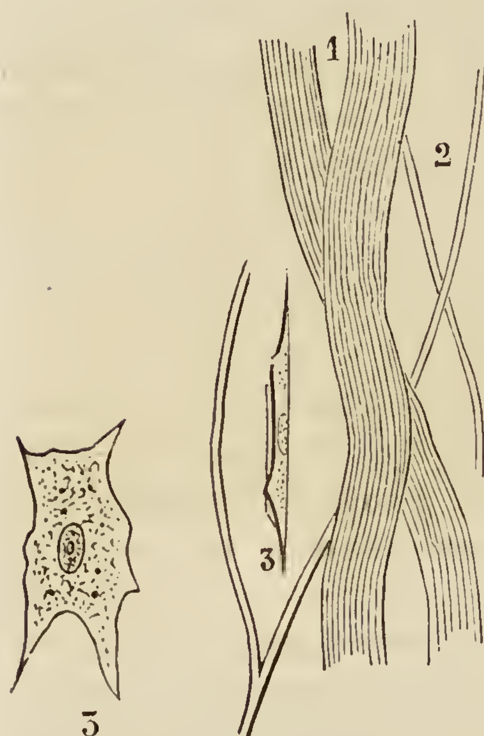


Fig. 45.— Eléments du tissu conjonctif. 1, Faisceaux conjonctifs; 2, fibres élastiques; 3, cellules conjonctives.

(1) Cette dissociation en fibrilles se fait, pour ainsi dire, toute seule en agitant dans de l'eau un morceau de tissu conjonctif ou de tendon qui a été mortifié dans une collection purulente, un phlegmon, un abcès, une arthrite.

Sur les faisceaux ainsi gonflés, la striation longitudinale a le plus souvent disparu, mais elle est quelquefois remplacée par une vague striation oblique ou croisée; on dirait que les fibrilles du faisceau, tuméfiées mais étranglées de distance en distance par les fibres annulaires, sont difficilement contenues dans un espace ainsi limité et qu'elles subissent une sorte de torsion pour s'y loger (*fig.* 46).

Les fibres annulaires sont facilement visibles sur des préparations faites par injection interstitielle de pricrocarminate, puis abandonnées pendant 24 heures dans la cellule du porte-objet à chambre humide. Après quoi, on fait passer un courant d'eau sous la lamelle, et on ajoute une goutte d'acide acétique. Les faisceaux sont à peu près décolorés, mais on les voit encore nettement formant des ventres entre les fibres annulaires, vivement colorées en rouge. On peut les reconnaître sans coloration préalable sur des fragments de tissu conjonctif œdématié (Henle).

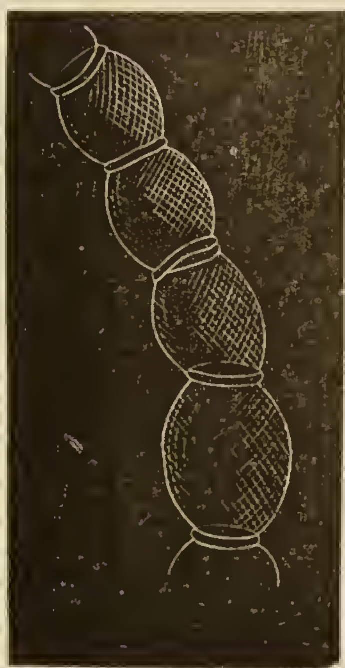


Fig. 46. — Faisceau conjonctif gonflé par l'acide acétique.

Les ventres formés par la substance conjonctive ne se diffusent pas dans le liquide de la préparation, malgré le gonflement et le ramollissement de cette substance traitée par un acide. Ils sont, en effet, maintenus par une enveloppe que sa réfringence identique avec celle de la substance intérieure ne permet pas de distinguer. Pour la reconnaître, il faut examiner des coupes transversales des faisceaux, et les tendons se prêtent plus facilement à cette observation. Sur une coupe transversale d'un petit tendon préalablement durci par l'acide picrique ou l'acide osmique, la gomme, l'alcool et l'eau, puis coloré au carmin et examiné dans la glycérine formique, on reconnaît que chaque faisceau est entouré d'une enveloppe fortement teintée en rouge qui envoie des cloisons entre les

fibrilles constituantes du faisceau et le divise ainsi en faisceaux plus petits, et qui, de plus, émet dans l'épaisseur même de ces derniers des prolongements fibrillaires dont la coupe en travers apparaît comme de petits points rouges épars dans la section des faisceaux (*fig.* 46). En élevant et abaissant l'objectif on peut suivre dans leur profondeur la membrane d'enveloppe, les cloisons, les fibrilles qui en émanent. Dans les espaces étoilés situés entre les faisceaux, espaces que Virchow et plusieurs histologistes allemands ont considérés comme des éléments réels ou

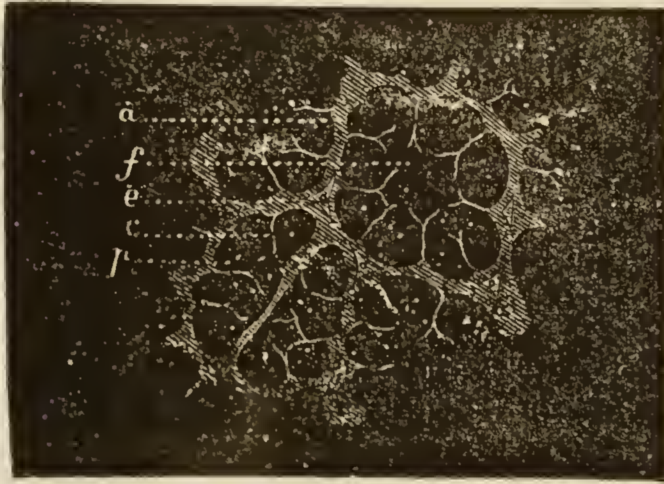


Fig. 47 — Coupe transversale d'un tendon.
f, faisceau conjonctif; *a*, membrane d'enveloppe; *c*, cloisons; *e*, cellules conjonctives ; *p*, fibrilles.

corpuscules du tissu conjonctif (1) qu'ils comparaient aux corpuscules osseux, on reconnaît çà et là des éléments plus ou moins aplatis, moulés dans les interstices des faisceaux, éléments nucléés dont on peut, par les mouvements de l'objectif, apprécier la hauteur ; ce sont les cellules conjonctives dont nous allons voir tout à l'heure la disposition particulière dans les tendons. Nous devons faire remarquer ici que les faisceaux qui composent les tendons ne se colorent pas par le carmin comme ceux du tissu conjonctif lâche, la membrane enveloppante et ses prolongements, cloisons, etc., se colore seule, ce qui rend la préparation beaucoup plus démonstrative.

Fibres élastiques. (Fibres de noyaux, de Henle). — Les fibres élastiques qui accompagnent toujours les faisceaux connectifs dans le tissu conjonctif (2, *fig.* 45) apparaissent comme des filaments très-fins dont la largeur peut n'être que de 1 μ, mais peut s'élever jusqu'à 8 ou 10. Elles sont sinueuses quand

(1) Ou *cellules plasmatiques.*

on les examine sur des tissus qu'on n'a pas eu la précaution de fixer en extension; mais, sur des pièces tendues, elles sont rectilignes, anastomosées entre elles, formant des réseaux de forme très-variable dans tous les sens et dans tous les plans, c'est-à-dire dans la largeur et la longueur d'un organe, mais aussi dans son épaisseur. Aux points où elles s'anastomosent, elles s'élargissent souvent, de manière à former des mailles très-diverses de forme. Ces mailles peuvent être très-grandes relativement à la largeur des fibres, alors on a un réseau; mais elles peuvent aussi être très-petites proportionnellement aux fibres qui s'étalent en lames, et l'on a ainsi une sorte de *membrane fenêtrée*, ordinairement formée de plusieurs feuillets superposés, mais réunis les uns aux autres par des lamelles qui vont de l'un à l'autre, partant, par exemple, de la face inférieure du premier pour se fixer à la face supérieure du second, et ainsi de suite.

Cette disposition en membrane, qui constitue le tissu élastique, auquel se joignent toujours en plus ou moins grand nombre des faisceaux connectifs, ne se trouve pas, il est vrai, dans le tissu conjonctif lâche, sous-cutané, par exemple, mais on la trouve dans la tunique des vaisseaux, les membranes séreuses, etc.

Cellules conjonctives ou *connectives*. — Virchow, Henle et plusieurs histologistes allemands avaient déjà signalé, dans le tissu conjonctif, des corpuscules étoilés qui ont été confondus, ainsi que plusieurs autres éléments, sous les noms de corpuscules conjonctifs, de fibres à noyaux (Henle), de cellules fibro-plastiques ou plasmatiques; mais, en étudiant les descriptions qu'ils en ont données, on reconnaît que ce sont surtout les interstices existant entre les faisceaux connectifs qu'ils désignaient ainsi, les prenant pour des éléments réels.

Les cellules connectives, bien décrites pour la première fois, par M. Ranvier, se trouvent, comme nous l'avons dit, dans ces interstices ; elles sont plates et moulées sur la surface des faisceaux, reproduisant par des crêtes d'empreinte les parties rentrantes et par des dépressions les parties saillantes de ces interstices. On peut s'en rendre facilement compte sur des

coupes tranversales de tissu conjonctif durci, comme nous l'avons indiqué, soit de tissu conjonctif lâche, soit de tissu tendineux. Mais l'un des meilleurs moyens de les étudier consiste à pratiquer dans du tissu conjonctif sous-cutané une injection interstitielle avec une solution de nitrate d'argent à 1 p. 1000 qui agit comme réactif fixateur (Ranvier). Après l'avoir placé dans le picrocarminate et laissé pendant 24 heures séjourner dans une chambre humide, on examine un fragment du tissu dans la glycérine et l'on y reconnaît, à côté des faisceaux, les cellules connectives sous forme de plaques granuleuses, les unes polygonales, les autres munies de prolongements plus ou moins nombreux. Le noyau, ovalaire, est coloré en rouge vif. De profil, elles paraissent fusiformes. L'injection interstitielle les déplace, mais sur des coupes transversales de tissu durci et non dissocié, on reconnaît qu'elles sont appliquées sur les faisceaux connectifs auxquels elles constituent ainsi une sorte d'endothélium discontinu, car elles sont isolées les unes des autres (3, *fig.* 45).

Ces cellules, difficiles à apercevoir quand elles n'ont pas été colorées, se modifient très-facilement dans leur forme. Elles se gonflent très-rapidement ainsi qu'on peut le voir en déterminant sur un animal vivant un œdème accidentel. Elles se remplissent alors d'un liquide séreux, granuleux, contenant des gouttelettes graisseuses.

Enfin, pour certains auteurs, ce sont elles qui, en se remplissant de graisse dans leur jeune âge, constituent les *cellules adipeuses* que nous étudierons plus tard.

Tels sont, d'une manière très-générale, les éléments constituants du tissu conjonctif, auxquels il faut toutefois ajouter les cellules lymphatiques ou globules blancs que l'on trouve toujours en plus ou moins grande quantité cheminant dans la lymphe, entre les faisceaux du tissu et dans les interstices des mailles.

Mais la forme, la disposition, la proportion respective de ces mêmes éléments peut varier, nous l'avons dit, de manière à constituer différentes sortes de tissu conjonctif, souvent telle-

ment dissemblables qu'il faut une étude attentive pour reconnaître en elles les diverses formes d'un même tissu.

Ce réseau, entre-croisé dans tous les sens, de faisceaux connectifs plus ou moins volumineux, laissant entre eux des mailles de formes et de grandeurs variables à l'infini, dans lequel se ramifie un lacis compliqué de fibres élastiques et contenant un nombre plus ou moins considérable de cellules connectives, plates, appliquées sur les faisceaux, tandis que dans les interstices s'amassent des groupes de cellules adipeuses et circulent des cellules lympathiques ; ce tissu, que nous venons de décrire, représente plus particulièrement le tissu conjonctif lâche ou diffus, tel qu'on peut, par exemple, le trouver sous la peau. Mais si, comme nous l'avons dit aussi, les faisceaux conjonctifs, au lieu de former un réseau intriqué, se disposent tous parallèlement les uns aux autres de manière à former une sorte de cordon, ils constitueront des tendons, et l'on conçoit que la disposition spéciale des faisceaux doit modifier la forme et la disposition des autres éléments; il en est de même si les faisceaux se disposent en lames aplaties et forment des membranes. Il pourra arriver encore que les fibres élastiques apparaissent en proportion prépondérante par rapport aux faisceaux conjonctifs, ce qui constituera ce qu'on appelle le *tissu élastique*, ou bien que les cellules connectives soient, au contraire, les seuls éléments figurés qu'on puisse y reconnaître et l'on aura le *tissu muqueux*.

Enfin, les cellules adipeuses peuvent se grouper en nombre tellement considérable que le tissu conjonctif deviendra du *tissu adipeux*.

Nous avons donc à jeter un rapide coup d'œil sur ces différentes variétés de tissu conjonctif.

III

TENDONS

Le tissu tendineux est spécialement caractérisé par les faisceaux conjonctifs (dits alors *faisceaux tendineux*) qui affectent tous la même direction.

Si l'on soumet à l'examen microscopique de très-petits tendons, par exemple ceux de la queue d'une souris ou d'un jeune rat, après 24 heures de séjour dans l'alcool absolu et coloration par le picrocarminate, on observe facilement les faisceaux parallèles légèrement onduleux, striés dans leur longueur, ce qui indique leur composition en fibrilles; mais entre les faisceaux peu colorés, on remarque des traînées de cellules disposées bout à bout et fortement teintées en rouge. Chaque cellule a une forme allongée et présente un noyau ovalaire assez volumineux; elle est en général séparée de la suivante par un espace intercellulaire très-appréciable, et sur deux cellules voisines on remarque que les noyaux sont ordinairement opposés l'un à l'autre symétriquement, de chaque côté de l'espace intercellulaire et parfois alternativement à droite et à gauche de la traînée de cellules (*fig.* 48). Ces cellules présentent dans le sens de la longueur des stries plus ou moins nombreuses et marquées qui représentent des crêtes d'empreinte formées par les faisceaux entre lesquels les rangées de cellules se trouvent pressées.

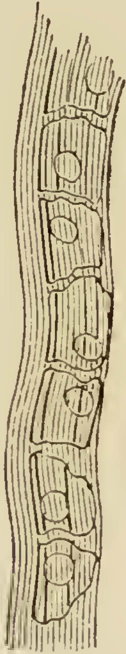


Fig. 48.—Cellules tendineuses.

On constate de même qu'elles sont incurvées en forme de tuiles faîtières pour s'appliquer sur le faisceau; mais, en exerçant une pression sur la lamelle on peut les aplatir, et elles se montrent alors sous forme d'une plaque protoplasmique, ordinairement rectangulaire, dont les deux parties latérales s'étalent de chaque côté, comme deux ailes ou deux expansions plus minces.

Mais si l'on imprégne le petit tendon par le nitrate d'argent, on constate qu'il est entouré tout entier par une enveloppe endothéliale, formée de cellules plates irrégulièrement polyédriques, dont l'argent dessine en noir les contours. On peut

même, dans la même préparation, reconnaître au-dessous de l'endothélium une seconde couche de cellules conjonctives, plates, de formes très-irrégulières, constituant un revêtement discontinu, anastomosées les unes aux autres par des prolongements quelquefois très-longs, et laissant entre elles des espaces qui paraissent remplis par une matière amorphe intercellulaire; car, tandis que la lame protoplasmique constituant chaque cellule est réservée par l'argent, les larges espaces intercellulaires sont fortement teintés par le réactif. Ces cellules sont le plus souvent disposées par séries et ne présentent pas de noyau. Ce sont donc de simples lames protoplasmiques, ainsi que le prouve, d'autre part, leur coloration par l'éosine. En raison de ces faits et de la disposition des cellules, M. Renaut les caractérise comme des expansions des cellules tendineuses situées au-dessous, et que nous avons décrites plus haut.

Enfin, les fibres élastiques forment entre les faisceaux tendineux un réseau à mailles très-allongées dans le sens de l'axe du tendon, et qui pénètre dans tous les plans dans l'épaisseur du tissu.

Les expansions tendineuses, les aponévroses donnent lieu à des observations analogues; mais, il en est qui montrent d'une manière frappante que les stries longitudinales que nous avons indiquées sur les cellules tendineuses sont bien des crêtes d'empreinte dues à la pression des faisceaux voisins. L'aponévrose fémorale de la grenouille, par exemple, est composée de deux plans tendineux. Les faisceaux de l'un ont une direction longitudinale et ceux de l'autre transversale. Prises entre ces deux plans dont les éléments sont perpendiculaires entre eux, les cellules tendineuses présentent des crêtes d'empreinte perpendiculaires aussi les unes aux autres : les stries de l'une des faces de chaque cellule sont, par exemple, longitudinales, parce que cette face est appliquée sur le plan de faisceaux longitudinaux, tandis qu'elles sont transversales sur l'autre face qui est en rapport avec le plan tendineux à faisceaux transversaux.

Si l'on fait sur un tendon durci une coupe transversale et

qu'on la colore dans le picrocarminate, on reconnaît facilement tous ces détails. Autour du tendon et des faisceaux qui le constituent règne une enveloppe fortement colorée en rouge, formant ainsi des cloisons entre les faisceaux, cloisons qui émettent, dans l'intérieur des faisceaux, des expansions composant d'autres cloisons plus ou moins complètes, et même des fibrilles isolées apparaissant sur la coupe comme autant de petits points rouges. C'est la coupe de cette matière conjonctive enveloppante qui forme les figures stellaires, prises par Virchow pour des éléments réels, (*cellules plasmatiques* ou *corpuscules de tissu conjonctif*). Ce ne sont que des espaces interfasciculaires. Mais c'est dans ces espaces que l'on trouve emprisonnées et comprimées les cellules connectives du tendon ou cellules tendineuses.

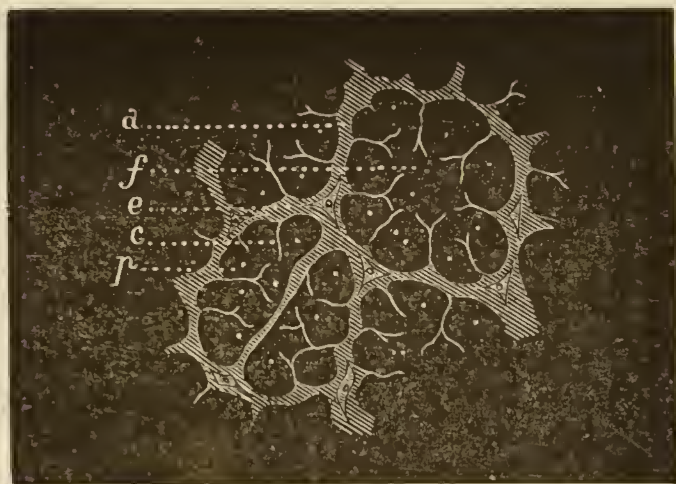


Fig. 49. — Coupe transversale d'un tendon ; *f*, faisceau conjonctif ; *a*, couche conjonctive enveloppante envoyant dans les faisceaux les cloisons *c* et les fibrilles dont la coupe forme les points *p* ; *e*, cellules tendineuses.

Les détails que nous venons de donner sur les éléments du tissu tendineux se rapportent particulièrement aux tendons proprement dits et surtout pris sur de jeunes animaux. Car, sur des animaux adultes ou âgés, si les faisceaux conservent l'aspect que nous avons décrit, il n'en est pas toujours de même pour les cellules tendineuses qui, tout en restant disposées par traînées, changent souvent de forme, deviennent parfois nettement prismatiques ou globuleuses. De même, quand le tendon change de nature, qu'il passe à l'état de cartilage ou même qu'il s'ossifie, ce qui est souvent l'effet de l'âge, les cellules, en devenant plus épaisses, revêtent un aspect et des propriétés histochimiques qui les rapprochent plus ou moins

des éléments que nous étudierons bientôt sous le nom de cellules cartilagineuses et de cellules osseuses.

Et encore, lorsqu'on examine un tendon ou un ligament près de son insertion sur un os ou un cartilage, on constate que ses cellules changent d'aspect et deviennent même de véritables cellules cartilagineuses, dont un des principaux caractères est d'être enfermées dans une capsule, ou enfin des cellules osseuses.

Cette transformation avec l'âge, cette adaptation de la cellule conjonctive à différentes formes caractéristiques des diverses variétés du tissu conjonctif, des tissus cartilagineux et osseux, tendrait à donner une valeur pratique au rapprochement théorique fait par Reichert entre ces divers tissus, dits par les histologistes allemands *tissus de substance conjonctive.*

Ajoutons que les tendons examinés à la lumière polarisée se montrent fortement biréfringents, c'est-à-dire apparaissent brillants sur un champ noir quand les Nicols sont croisés et peuvent même produire de remarquables effets de coloration. Nous savons que cette propriété appartient aux corps dont la constitution moléculaire n'est pas homogène dans tous les sens. Or, les faisceaux conjonctifs présentent par eux-mêmes cette constitution, formés qu'ils sont par des fibrilles étirées en longueur, et, à plus forte raison, les tendons, composés de faisceaux dirigés tous dans un seul sens.

IV

MEMBRANES

Les membranes séreuses sont constituées par du tissu conjonctif étalé en forme de lames ordinairement composées de plusieurs feuillets superposés ; tel est, par exemple, le mésentère que l'on peut étudier facilement chez le lapin, et qui est formé de deux ou trois feuillets dont le feuillet moyen contient les vaisseaux.

Ces feuillets sont composés par un réseau de faisceaux conjonctifs entre-croisés dans tous les sens et par des fibres élastiques fines anastomosées en un lacis qui pénètre dans le réseau

conjonctif. A leurs points de rencontre, les fibres élastiques s'élargissent en expansions ou en lames plus ou moins larges et minces, présentant des trous arrondis, et constituent ainsi ce qu'on appelle une membrane fenêtrée. D'ailleurs, certaines fibres passent d'un feuillet à l'autre et se dirigent dans tous les plans.

Chaque surface de la membrane est recouverte de cellules endothéliales constituant un revêtement complet que le nitrate d'argent met en évidence. Puis, sous l'endothélium, et appliquées contre les faisceaux, on trouve des cellules conjonctives plates, éparses, ressemblant à celles du tendon, sauf qu'elles ne sont pas disposées en traînées. Si l'on brosse la préparation avec un pinceau, on enlève toutes les cellules en même temps que celles de l'endothélium, ce qui prouve qu'elles ne sont pas situées dans l'épaisseur, mais à la surface, et sous l'endothélium lui-même.

Enfin, il est probable qu'entre tous les éléments règne une substance amorphe unissante, excessivement mince, dont on peut reconnaître la présence en pratiquant des coupures dans une préparation colorée.

On trouve de plus, dans la membrane, du tissu adipeux et des vaisseaux sanguins et lymphatiques que nous étudierons plus tard.

Une autre membrane intéressante à étudier est le grand épiploon que l'on peut prendre chez le chien, le cochon d'Inde, le rat. Cette membrane se présente comme un réseau percé à jours par des mailles de différents diamètres ; les travées sont formées par des faisceaux conjonctifs entre lesquels, aux points où ils s'entre-croisent dans l'épaisseur des travées, sont placées des cellules plates connectives, et à la surface de ces travées s'étalent des cellules endothéliales. Certaines de ces cellules sont à cheval sur le bord des mailles, de manière à se replier de la face supérieure de la membrane vers la face inférieure, en tapissant le profil de la maille sur lequel on voit se détacher le noyau. D'autres enveloppent une petite travée tout entière, comme une feuille de papier collée autour d'une colonne, et, sur le profil, on voit la saillie du noyau. Ainsi il existe, dans l'épaisseur de la membrane, des cavités et des mailles qui sont

tapissées d'un endothélium sur toute leur surface et sont les équivalents des grandes cavités séreuses, la cavité péritonéale, par exemple. Dans leur intérieur, on trouve des cellules lymphatiques errantes.

Chez les jeunes animaux le grand épiploon ne présente pas toujours cette structure réticulée qui se développe plus tard et ne prend, d'ailleurs, pas chez toutes les espèces une réticulation aussi prononcée. C'est ainsi que chez le lapin, par exemple, le grand épiploon forme d'abord une membrane continue qui

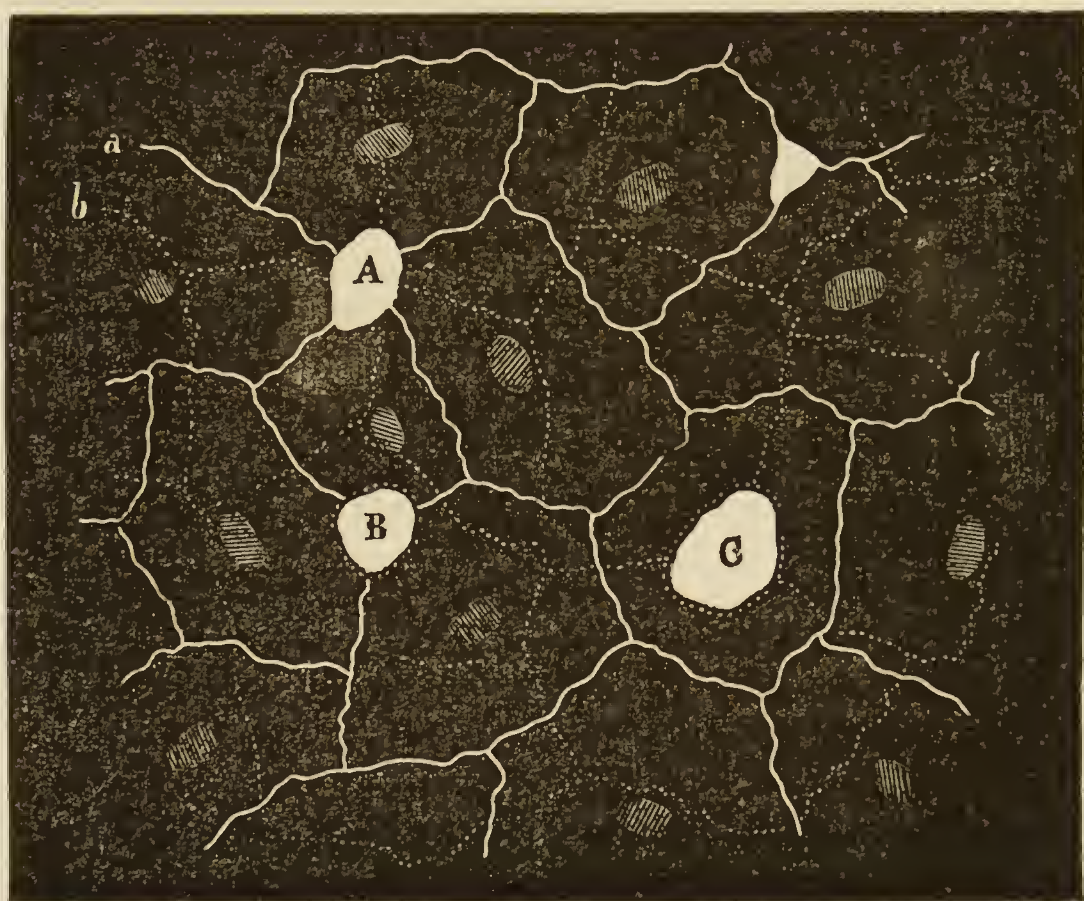


Fig. 50. — Grand épiploon du lapin (jeune).

Les lignes noires indiquent les cellules de l'endothélium supérieur, dont on reconnaît les noyaux, les lignes ponctuées celles de l'endothélium inférieur. A, trou percé dans la membrane entre quatre cellules de l'endothélium supérieur et aboutissant entre quatre cellules de l'endothélium inférieur. — B, trou percé entre trois cellules de l'endothélium supérieur et aboutissant au milieu d'une cellule de l'endothélium inférieur. — C, trou percé au milieu d'une cellule de l'endothélium supérieur et aboutissant entre trois cellules de l'endothélium inférieur.

peu à peu se perfore de trous plus ou moins nombreux, et permet même d'étudier le processus de ces perforations. C'est

ainsi que chez un jeune lapin, en examinant la membrane après imprégnation par le nitrate d'argent, et coloration par le picrocarminate, il est possible de distinguer l'endothélium de la face supérieure et, en abaissant l'objectif, celui de la face inférieure ; çà et là, on reconnaît les trous qui traversent toute l'épaisseur du tissu et qui sont placés dans les interstices des cellules, tantôt de la face supérieure, tantôt de la face inférieure, et qui peuvent aboutir, de l'autre côté, au milieu d'une cellule, comme si ces ouvertures avaient été percées par des corps étrangers qui se seraient insinués dans les interstices des cellules de l'un ou de l'autre endothélium, auraient traversé la membrane et auraient perforé l'autre endothélium au point quelconque où ils l'ont atteint. Et, cela paraît être la vérité. On trouve, en effet, très-souvent, dans ces trous, des cellules lymphatiques qui à l'aide de leurs expansions amiboïdes se sont insinuées dans les espaces intercellulaires et ont insensiblement creusé leur voie à travers la membrane. On peut même saisir, pour ainsi dire, sur le fait, quelques-unes de ces cellules engagées dans une ouverture qui ne traverse pas encore toute l'épaisseur. Ce fait paraît bien évident surtout quand on l'examine sur le mésentère de la grenouille, membrane perforée dans les trous de laquelle on trouve toujours un nombre plus ou moins considérable de cellules lymphatiques engagées.

Il est évident qu'on ne peut constater la présence de ces cellules perforantes que sur des préparations fixées et imprégnées en place, mais non soumises à un lavage qui entraînerait les cellules mobiles. Sur ces mêmes préparations, on reconnaît l'existence d'espaces intercellulaires élargis formant par le dépôt d'argent des taches noires plus ou moins larges sur le contour des cellules endothéliales. Ces espaces considerés souvent comme des ouvertures, ou *stomates* préexistants dans l'endothélium de l'épiploon, ne paraissent devoir être attribués qu'à un commencement d'action d'une cellule lymphatique sur le revêtement cellulaire, des tentatives de perforation, pour ainsi dire, qui sont restées incomplètes et se sont bornées à l'écartement en certains points de l'espace compris entre

deux ou trois cellules adjacentes. Nous retrouverons des stomates analogues et produits de la même manière, en examinant l'endothélium des vaisseaux capillaires.

Un grand nombre d'autres membranes mériteraient de fixer notre attention, notamment le centre phrénique, mais l'étude que nous pourrions faire ici du tissu conjonctif qui les compose ne nous apprendrait plus rien de nouveau ; les observations intéressantes dont elles peuvent être l'objet sont surtout relatives à la circulation lymphatique, et nous les étudierons plus tard sous ce point de vue.

C'est encore de certaines des membranes que nous venons d'étudier, et particulièrement du grand épiploon, qu'il faut rapprocher le *tissu conjonctif réticulé* formant le stroma des ganglions lymphatiques. Ce tissu, dont His a fait une espèce à part sous le nom de *tissu adenoïde* et Kölliker sous le nom de *tissu cytogène*, n'est point, comme le croyait ce dernier observateur, composé de cellules anastomosées, mais de faisceaux conjonctifs fins formant un réseau compliqué, non plus dans un seul plan, mais dans tous les sens, et composant une sorte de masse caverneuse à fines travées et à larges mailles recouvertes de cellules endothéliales et dans lesquelles circulent les cellules lymphatiques. Nous aurons, d'ailleurs, à revenir sur ce sujet en étudiant la circulation lymphatique.

Quant au tissu conjonctif que Ranvier appelle *lamelleux* ou *engaînant*, il se compose de lames superposées, formées de faisceaux conjonctifs disposés parallèlement, lames qui s'anastomosent les unes avec les autres, non-seulement dans leur plan, mais dans les plans supérieurs et inférieurs constituant des travées lamelleuses qui comprennent des cavités plates. Celles-ci sont tapissées sur toute leur surface d'une couche endothéliale.

Ce tissu forme la gaîne lamelleuse des faisceaux nerveux, nous aurons donc à l'étudier plus tard avec détails ; nous ferons seulement remarquer que les lamelles qui le composent contiennent des fibres et même des plaques élastiques qui, sur les bords, s'éparpillent en grains formant d'abord des chapelets,

puis par leur soudure, de véritables fibres élastiques, ce qui explique la genèse des fibres élastiques.

On peut d'ailleurs, observer la naissance des fibres élastiques



Fig. 51. — Cartilage aryténoïde.

Coupe montrant la naissance des fibres élastiques près des îlots de cellules cartilagineuses ; à la partie supérieure, réseau élastique du tissu conjonctif voisin.

par l'agglomération des grains élastiques qui se forment dans le voisinage immédiat des cellules de cartilage, dans les tissus de transition qu'on désigne sous le nom de *fibro-cartilages*, qui représentant le point d'insertion d'un tendon ou d'un ligament sur un cartilage, présentent la constitution conjonctive et élastique du tendon ou du ligament, mais contiennent des cellules de cartilage capsulées au lieu de cellules tendineuses. Constituées par la réunion en séries linéaires de grains élastiques formés au voisinage de ces capsules, les fibres élastiques traversent le fibro-cartilage et vont former leur réseau dans le tissu conjonctif voisin.

V

TISSU MUQUEUX

Le tissu muqueux paraît représenter l'état le plus simple et embryonnaire du tissu conjonctif. C'est lui qui constitue presqu'exclusivement le tissu conjonctif des Invertébrés, et, chez les animaux supérieurs, on le trouve dans la gelée de Warthon qui enveloppe les trois vaisseaux du cordon ombilical, dans le corps vitré, l'espace sous-arachnoïdien, etc.

Il ne consiste, en effet, qu'en une substance fondamentale amorphe au milieu de laquelle se répand un réseau formé de cellules conjonctives à forme étoilée et irrégulière, anastomosées par leurs prolongements qui s'étendent dans tous les plans. On n'y constate ni faisceaux conjonctifs, ni fibres élastiques. Ce tissu qui reste à cet état chez les Invertébrés et dans quelques points de l'organisme chez les animaux supérieurs, se complique dans toutes les autres régions, chez ces derniers, par l'adjonction des faisceaux connectifs et des fibres élastiques pour former les diverses variétés de tissu conjonctif que nous avons décrites.

VI

TISSU ADIPEUX

Le tissu conjonctif se gorge, en certaines parties, de *cellules adipeuses*, cellules vésiculeuses qui contiennent une grosse goutte ou plusieurs petites gouttes de graisse facilement reconnaissables à leur forte réfringence. Ces cellules, ordinairement réunies en masses parfois considérables et visibles à l'œil nu, sont quelquefois aussi isolées dans les tissus par groupes microscopiques. Elles sont globuleuses, déformées par pression réciproque, et mesurent de 30 à 100 μ et même 150 μ de diamètre. Elles présentent un noyau pâle, ovalaire, aplati, appliqué contre la paroi dans une mince lame de protoplasma granuleux, et difficile à apercevoir, à moins qu'il ne se présente sur le bord de la coupe optique. Ce noyau contient un

et quelquefois deux nucléoles. Dans les cellules contenant plusieurs gouttes graisseuses, on distingue entre la lame protoplasmique et les gouttes, et entre ces gouttes elles-mêmes, un liquide transparent, suc cellulaire, qui n'est pas de nature grasse. Enfin, la cellule est entourée d'une membrane transparente et fine, ayant moins de 1 μ d'épaisseur.

On observe facilement ces détails sur des préparations obtenues après injection interstitielle de nitrate d'argent à 1 pour 1000 dans le tissu conjonctif adipeux ; on peut ensuite colorer par le picrocarminate qui montre bien le noyau et la lame protoplasmique.

Le réactif caractéristique des cellules adipeuses, ou plutôt de la matière grasse, est l'acide osmique qui colore cette matière



Fig. 52. — Cellules adipeuses.
1, 2, Cellules traitées par le nitrate d'argent ; 3, par l'acide osmique.

en noir-brun, plus ou moins intense, suivant la concentration de la liqueur et la durée de l'action. L'acide osmique permet ainsi de reconnaître l'existence de la matière grasse dans un très-grand nombre de cellules autres que les cellules adipeuses proprement dites.

Le bleu de quinoléine dissous dans l'alcool colore la matière grasse en bleu, et la coloration acquiert de la persistance, et même se fonce avec le temps, après un lavage avec de la potasse à 40 pour 100.

La matière grasse contenue dans les cellules adipeuses est soluble dans l'éther, et l'on peut ainsi obtenir les membranes

isolées sous forme de vésicules à peu près vides et flasques. Cette matière est un mélange de stéarine, de margarine et d'oléine; quelque temps après la mort, il arrive souvent que des cristaux de margarine se déposent dans les cellules, sous forme de houppes soyeuses que la chaleur redissout. Ces cristaux peuvent se former aussi dans les gouttes de matière grasse extraite des cellules crevées et répandue sur le porte-objet.

Pour un grand nombre d'auteurs, les cellules adipeuses ne sont que des cellules conjonctives qui, dans leur jeunesse, se sont gorgées de graisse. Si l'on étudie leur développement chez des embryons, car elles apparaissent chez le fœtus humain, à la paume de la main et à la plante des pieds, dès le 60me ou 65me jour, on trouve qu'elles présentent, dans le sein du protoplasma, un certain nombre de granulations réfringentes qui sont de la matière grasse, et qui, croissant en grosseur, finissent par se confondre en une seule masse occupant le centre de la cellule, tandis que le protoplasma est refoulé à la périphérie et le noyau appliqué contre le paroi. C'est à ce moment seulement que le protoplasma sécrète la membrane d'enveloppe qui se trouve recouvrir ainsi une lame mince de protoplasma, semblable à l'*utricule primordial* des cellules végétales, un peu épaissie seulement autour du noyau. Le suc cellulaire diminue ainsi de plus en plus, tandis que la goutte de graisse centrale devient de plus en plus grosse.

Si, au commencement de sa formation, on traite le tissu adipeux par une solution d'acide osmique à 1 pour 300, en injection interstitielle, par exemple, on remarque que les granulations graisseuses que l'on peut considérer comme commençantes n'offrent pas la coloration brun-noir, ou même noire caractéristique, mais une nuance d'un brun-jaunâtre paraissant indiquer dans ces gouttelettes une élaboration incomplète ou un mélange de matière albuminoïde et grasse. L'indice de réfraction de ces gouttelettes est, d'ailleurs, dans certains cas, un peu inférieur à celui de la graisse.

Dans l'amaigrissement, il se produit un phénomène inverse, c'est-à-dire que la matière grasse, qui formait, au centre de la

cellule, une masse volumineuse, diminue peu à peu de grosseur et est remplacée par une matière d'apparence albumineuse. Cette matière albuminoïde peut même être reprise, par l'économie, et la cellule ratatinée, plissée, n'est pour ainsi dire plus représentée que par sa membrane recroquevillée sous laquelle on voit, cependant, le noyau plus distinctement que quand la cellule était gonflée par la graisse.

D'autres auteurs pensent avec Ranvier que les cellules adipeuses sont des cellules spéciales et comparables à des glandes unicellulaires. Il est certain, en effet, que le tissu adipeux se forme plutôt en certaines régions qu'en d'autres : et, en particulier, sur le trajet des vaisseaux (Flemming). Mais ces considérations ne nous semblent pas suffisantes, car il paraît tout naturel que les cellules conjonctives se gorgent de graisse précisément dans les points où elles reçoivent en plus grande abondance les matériaux nutritifs, c'est-à-dire sur le trajet des vaisseaux ; et en réalité, il n'existe guère de tissu conjonctif, dans quelque partie que ce soit de l'organisme, qui ne puisse se charger plus ou moins de cellules adipeuses. Enfin, la matière grasse n'est pas le produit exclusif de ces cellules, car on la retrouve dans d'autres éléments analogues, par exemple dans les cellules cartilagineuses, qui ont certes plus de rapports morphologiques avec les cellules connectives qu'avec les glandes.

Ajoutons que les cellules connectives sont aptes à éprouver très-facilement et très-fréquemment des modifications considérables ; c'est ainsi que sous l'influence de l'*inflammation* elles se gonflent, leur protoplasma s'hypertrophie, elles redeviennent globuleuses, reprennent la forme embryonnaire et entrent en prolifération.

Il nous paraît donc logique d'accepter l'opinion générale qui fait provenir les cellules adipeuses de l'engraissement de certaines cellules connectives, de même que le dépôt dans ces mêmes cellules de diverses matières colorées en fait des *cellules pigmentaires*.

VII

RÔLE ET DÉVELOPPEMENT DU TISSU CONJONCTIF

Le tissu conjonctif remplit dans l'économie un rôle des plus importants, et ce rôle est multiple. Formant à tous les organes une charpente solide, il les entoure d'une enveloppe protectrice. En continuité, par le périoste et les tendons, avec le système osseux, il prolonge, pour ainsi dire, le squelette dans la profondeur des organes. C'est dans son épaisseur que circulent les vaisseaux sanguins et lymphatiques; en même temps, les cavités tapissées d'endothélium dont il est partout creusé, cavités communiquant les unes avec les autres et avec les grandes cavités séreuses, établissent dans toutes les parties du corps un vaste système continu qui pénètre jusque dans les interstices des faisceaux musculaires et des tubes nerveux. Dans ce système est contenue la lymphe, mise ainsi en contact immédiat avec les éléments de tous les tissus, et les cellules lymphatiques dont les revêtements endothéliaux eux-mêmes n'arrêtent pas la marche et qui peuvent ainsi pénétrer jusque dans la plus intime profondeur des organes pour leur porter les matériaux nécessaires à leur nutrition.

A cette multiplicité de fonctions devait correspondre une multiplicité de formes; de là, ces diverses variétés que nous avons étudiées ; la forme diffuse ou lâche pour le tissu conjonctif destiné à protéger, à séparer et à réunir les divers organes ; la forme étirée dans un seul sens pour celui qui éprouve et transmet un mouvement dans ce même sens ; la forme aplatie en membranes pour celui qui éprouve des mouvements dans tous les sens ou recouvre des organes doués de ces mouvements. Mais toutes ces variétés sont toujours creusées des cavités, variables de forme, elles aussi, dans lesquelles se répand la lymphe et se meuvent les cellules lymphatiques.

Enfin, c'est le tissu conjonctif qui constitue toutes les néoformations pathologiques ou réparatrices dont l'organisme présente de si nombreux exemples.

Le mode de développement du tissu conjonctif est encore entre les histologistes l'objet de discussions nombreuses. C'est que l'idée qu'on se fait souvent de la constitution de ce tissu paraît encore excessivement confuse, si l'on s'en rapporte aux descriptions qu'en donnent certains auteurs et aux conceptions diverses qui ont été soutenues à son sujet. Si l'on se rappelle que les espaces interfasciculaires, occupés par la substance fondamentale amorphe, et constituant ce que nous avons appelé des cloisons, ont été considérés comme des cellules étoilées ; que ces espaces, sans être eux-mêmes des cellules, contiennent en effet les cellules connectives ; si l'on considère que, d'autre part, Virchow a décrit les cellules étoilées, anastomosées ou ramifiées, qui sont en réalité des parties interfasciculaires et intercellulaires, comme des cellules creuses, formant par leurs prolongements un réseau canaliculé (les *canalicules du suc*), dans lequel circulerait la lymphe ; qu'enfin nous avons reconnu sur les différentes lames ou travées qui composent une masse donnée de tissu conjonctif, l'existence d'un endothélium continu, assimilant ainsi les cavités des tissus à des cavités séreuses, et que nous y avons trouvé des cellules lympathiques ; en rassemblant toutes ces idées divergentes, on reconnaît qu'il y a entre les auteurs un véritable malentendu au sujet des éléments du tissu conjonctif ; les uns ont considéré comme des éléments réels ce qui n'est que l'intervalle entre les éléments, comme intervalles ce qui représente pour les autres les véritables éléments ; mais, néanmoins, les premiers ont décrit comme creuses les parties qu'ils prenaient pour des éléments figurés, et comme pleines, celles qui correspondaient, à peu près, à des intervalles.

Or, toute cette confusion provient surtout de ce que dans une préparation de tissu conjonctif dissocié et traité par le carmin, c'est la matière interfasciculaire formant les cloisons qui se colore le plus vivement, de sorte qu'en pratiquant des coupes transversales on obtient des figures étoilées ou radiées dont on faisait des cellules ou corpuscules qu'on assimilait aux corpuscules osseux.

Cette erreur signalée, et, en revenant à une plus juste con-

ception du tissu conjonctif, on peut exposer, ainsi qu'il suit, les phases de son développement.

Le feuillet moyen du blastoderme peut être, au moment de son apparition, considéré comme formé tout entier de tissu conjonctif, et c'est dans l'épaisseur de ce tissu que certaines cellules embryonnaires se différencient pour constituer les cartilages, les os, les muscles, les vaisseaux, les nerfs, etc. Toutes les cellules ambiantes formeront le tissu conjonctif. Ces cellules ont d'abord l'aspect embryonnaire; elles sont globuleuses et contenues dans une substance fondamentale amorphe. Mais bientôt elles se déforment, s'allongent, deviennent fusiformes et constituent alors ce qu'on a appelé *cellules fibro-plastiques* (1), ou bien étoilées, irrégulières, munies de prolongements anastomosés; tel est le tissu conjonctif muqueux (2) et celui qu'on trouve chez les Invertébrés. Un peu plus tard, apparaissent, dans la substance fondamentale, des faisceaux connectifs de longueur indéfinie, mais dont la largeur augmente rapidement et qui emprisonnent entre eux les cellules avec lesquelles ils n'ont évidemment que des rapports de contiguité. Ces faisceaux ne sont certainement pas formés par les cellules, qui se seraient allongées indéfiniment, non plus que par leurs prolongements protoplasmiques. Les cellules les recouvrent çà et là, et se moulent sur leur surface, comme nous l'avons vu, mais on n'a jamais constaté l'existence d'une cellule connective donnant naissance à un faisceau et se continuant avec celui-ci. Les faisceaux sont donc des formations extra-cellulaires et semblent provenir d'une organisation nouvelle ou d'une différenciation de la substance fondamentale, à moins qu'on ne les considère comme des produits de sécrétion des cellules.

Les cellules elles-mêmes se multiplient, d'ailleurs, par division, pendant cette période formative, et l'on trouve la trace

(1) Appellation défectueuse, car ces cellules ne *forment* pas de *fibres*. Ce sont les cellules conjonctives.

(2) Sauf le tissu muqueux du corps vitré, qui ne contient chez l'homme que des cellules arrondies.

de ce processus sur les cellules connectives des tendons dans lesquels on voit encore les noyaux symétriquement placés de chaque côté des espaces intercellulaires.

Quant aux fibres élastiques, elles ne proviennent pas non plus des cellules; elles apparaissent beaucoup plus tard et continuent à se former dans l'âge adulte. Nous avons cité des cas dans lesquels on les voit prendre naissance dans la substance intercellulaire par la réunion de grains qui peuvent même former de véritables plaques de substance élastique.

Telle est, à ce que nous croyons, l'idée la mieux fondée que l'on puisse concevoir sur le développement des éléments du tissu conjonctif. Schwann avait, il est vrai, supposé qu'une cellule connective, en s'allongeant et en se subdivisant en fibrilles, donnait naissance à un faisceau; Valentin pensait, au contraire, qu'une cellule ne donnait naissance qu'à une fibrille; et il aurait fallu ainsi la juxtaposition d'un nombre assez considérable de cellules pour former un faisceau.

Pour Max Schultze et, à ce que nous pensons, pour Fr. Boll, les faisceaux résulteraient de l'organisation de la partie périphérique des cellules.

Enfin Henle, Reichert, Donders, Virchow, Gerlach, Kölliker, avec des vues diverses sur les circonstances de la genèse des faisceaux, considèrent ceux-ci comme une formation extra-cellulaire. Mais Henle a admis que les fibres élastiques résultent de la transformation des cellules connectives ou plutôt des noyaux, car il n'avait vu que ces derniers, d'où le nom de *fibres de noyaux* qu'il a donné aux fibres élastiques.

Aujourd'hui, principalement en raison des études faites sur le ligament cervical postérieur des mammifères, presque entièrement élastique, il est reconnu que les cellules connectives ni leurs noyaux ne prennent aucune part directe à la genèse des fibres élastiques; nous pensons aussi que la formation extra-cellulaire des faisceaux conjonctifs est admise par le plus grand nombre des histologistes. Ranvier a, en effet, démontré par l'examen du tissu conjonctif embryonnaire, après injection interstitielle de sérum iodé, qu'on ne trouve à aucun moment du développement, de rapport de forme ou de conti-

nuité entre un faisceau et une cellule ; que les cellules sont simplement appliquées sur un ou plusieurs faisceaux, ou interposées aux faisceaux et que, par exemple, sur une membrane, un simple coup de pinceau suffit pour faire disparaître toutes les cellules.

De plus, des fibres absolument semblables aux faisceaux du tissu conjonctif, et que l'on doit leur assimiler, prennent naissance dans certains tissus qui remplacent parfois le tissu conjonctif, comme dans les cartilages costaux de l'homme, dans la sclérotique de la grenouille et d'un grand nombre de poissons. La sclérotique, formée de tissu conjonctif chez les vertébrés supérieurs, est, chez ces poissons (par exemple la raie), constituée par du cartilage. Or, dans la substance fondamentale de ce cartilage, qui a bien les propriétés histochimiques de la substance hyaline du cartilage, il n'existe pas de cellules connectives, mais seulement des cellules cartilagineuses renfermées dans des capsules; et néanmoins on y rencontre des faisceaux de fibrilles ayant toutes les réactions des faisceaux conjonctifs. Ceux-ci ne peuvent évidemment provenir ici que de l'organisation, de la transformation de la substance fondamentale (Ranvier).

Enfin, dans les fibro-cartilages, à l'union du tendon d'Achille avec le calcaneum, on reconnaît une région où le cartilage est déjà pénétré de faisceaux tendineux, bien qu'il ne possède encore que des cellules de cartilage, et cette région est facile à reconnaître sur des embryons, à la lumière polarisée, puisque les faisceaux tendineux sont biréfringents, tandis que le cartilage embryonnaire ne l'est pas.

Ces observations font voir en même temps que l'on peut trouver dans différents tissus autres que le tissu conjonctif proprement dit, notamment dans le cartilage, soit des fibres élastiques, soit des fibres connectives, soit même ces deux sortes d'éléments. On a ainsi des fibro-cartilages de constitution un peu différente, et l'on peut désigner les premiers sous le nom de *cartilages élastiques* et les seconds sous celui de *cartilages fibreux*.

PRÉPARATION

Les préparations à effectuer sur le tissu conjonctif sont de différentes espèces, suivant la nature du tissu que l'on veut examiner.

Pour le tissu conjonctif lâche, la meilleure méthode consiste à prendre un morceau de peau fraîche et maigre, sur un animal récemment sacrifié, et à pratiquer une injection interstitielle, dans la face inférieure, avec une seringue hypodermique pleine d'une solution de picrocarminate. Une petite partie de la boule d'œdème est rapidement dissociée sur la lame de verre et recouverte d'une lamelle. On lave par un courant d'eau sous la lamelle ; et l'on voit les faisceaux connectifs colorés en rose ; mais pour avoir une vue plus nette de tous les éléments, il est préférable de faire passer dans la préparation une goutte d'acide acétique à 1 pour 100. On borde et on porte la préparation dans la chambre humide pendant 24 heures. Les faisceaux conjonctifs sont à peu près décolorés ; l'acide acétique les a gonflés, mais les fibres annulaires ont conservé leur couleur et leur dimension, les fibres élastiques sont colorées en jaune par l'acide picrique, et l'on peut distinguer avec un bon objectif le protoplasma granuleux des cellules plates connectives.

Une méthode préférable consiste à pratiquer une injection interstitielle de nitrate d'argent à 1 pour 1000 qui fixe dans leur forme les cellules connectives ; puis on colore par le picrocarminate (24 heures) et l'on examine dans la glycérine formique.

Cette méthode est aussi celle qui permet d'observer le mieux la forme et la structure des cellules adipeuses.

M. Renaut emploie des injections interstitielles avec des solutions à 1 pour 100 d'éosine dans l'eau, ou mieux dans l'alcool au tiers qui fixe en même temps les éléments : les faisceaux connectifs et les fibres annulaires sont incolores, les fibres élastiques colorées en rouge, le noyau des cellules en rouge et leur protoplasma en rose pâle. On peut ainsi suivre les prolongements filiformes ou membraniformes de ces cellules.

Les injections de sérum iodé colorent les faisceaux connectifs

et les fibres élastiques en jaune; elles accentuent la striation longitudinale ou la composition fibrillaire des faisceaux.

On peut d'ailleurs opérer la dissociation en fibrilles des faisceaux connectifs des tendons par la macération dans une solution saturée d'acide picrique, ou d'acide osmique à 1 pour 100, (24 heures). Cette même solution osmique fait apparaître la structure en chapelets de grains des fibres élastiques, mais il faut, pour cette observation, employer un grossissement considérable et un excellent objectif (N° 10, à immersion, de Hartnack et Prazmowski, — 1000 diamètres).

Ainsi les caractères des fibres élastiques, et en un mot de la substance élastique, sont nettement tranchés ; pas de coloration par le carmin, coloration en jaune par l'iode, par l'acide picrique et le picrocarminate, en rouge pour l'éosine. — Ajoutons que cette substance est insoluble dans l'acide acétique qui gonfle et rend transparents les faisceaux connectifs (1), et insoluble aussi dans la potasse à 40 pour 100.

Pour étudier les tendons, on opère de préférence, comme nous l'avons dit, sur les tendons de la queue des petits mammifères, qu'on peut examiner dans leur entier. On coupe la queue à une souris ou à un jeune rat (ce qui n'altère en rien la santé de ces animaux), on enlève la peau comme un gant et, en séparant les vertèbres par arrachement, on obtient les petits tendons comme autant de gros fils. On les place pendant 24 heures dans l'alcool absolu ; puis, après fixation, on les lave à l'eau distillée, les colore au picrocarminate et les examine dans la glycérine formique en les tendant sur la lame de verre.

La macération pendant 24 heures dans l'acide osmique permet de dissocier les faisceaux et de mettre en liberté les cellules tendineuses après 24 heures de séjour dans le picrocarminate, car on doit se rappeler que la coloration de tous les éléments est toujours plus difficile après l'action de l'acide osmique et d'autant plus que cette action a été plus longue.

(1) Ainsi, en traitant le tissu conjonctif par l'acide acétique, on rend la préparation transparente et les fibres élastiques restent seules visibles.

L'éosine à 1 pour 100 colore les cellules tendineuses en rose, mais ne teint pas les noyaux en une nuance plus foncée, en rouge, comme elle fait des noyaux des cellules connectives plates du tissu conjonctif lâche.

L'imprégnation au nitrate d'argent à 1 pour 300 montre les cellules endothéliales et souvent, plus profondément, les lames protoplasmiques sous-endothéliales ; celles-ci sont réservées en blanc au milieu des larges espaces intercellulaires colorés en brun. — On peut colorer ces lames en rose par l'éosine, après imprégnation à l'argent, et suivre ainsi tous les détails de leurs prolongements et de leurs anastomoses.

On opère les coupes transversales des tendons après durcissement dans l'acide chromique ou les bichromates ; mais, dans ce cas, les faisceaux conjonctifs se coloreront fortement par le traitement subséquent en carmin, ce qui est un inconvénient. Il vaut donc mieux durcir par l'alcool absolu (12 heures), puis par l'acide picrique (24 heures) ; après quoi on porte le tendon dans la gomme (24 heures), puis dans l'alcool ordinaire. — On fait alors les coupes au rasoir, on les dégomme dans l'eau distillée (24 heures), et enfin on les colore sur la lame de verre avec quelques gouttes de carmin pour les examiner dans la glycérine formique.

Ce procédé permet de reconnaître les cloisons périfasciculaires et intrafasciculaires avec les fibrilles qu'elles émettent dans l'intérieur des faisceaux ; les unes et les autres sont fortement colorées en rouge, tandis que la substance des faisceaux est incolore.

On peut encore opérer sur les petits tendons de la queue du rat après durcissement dans l'acide osmique à 1 p. 100 (24 heures), lavage (24 heures), et traitement par le picrocarminate (24 heures). Mais pour opérer les coupes, il faut fixer le tendon filiforme avec de la gomme épaisse sur un morceau de moelle de sureau que l'on tranche en même temps avec le rasoir.

Sur les tendons cartilaginiformes de la patte des oiseaux, on peut faire des coupes sans durcissement préalable; mais pour les tendons ossifiés, il faut d'abord décalcifier le tissu dans

l'acide picrique saturé ou l'acide chromique à 2 pour 1000, et colorer les coupes par le carmin ou la purpurine.

La préparation des membranes séreuses telles que le mésentère est plus difficile, parce que ces membranes doivent être tendues sur la lame de verre. Il faut procéder par la demi-dessiccation. On opère sur les petits mammifères, lapin, cochon d'Inde, rat, etc. Un fragment de mésentère est placé sur le porte-objet où on l'étend, en tirant sur l'un des bords avec les doigts, et en appuyant contre le verre. Ce bord se sèche à demi et adhère au verre. On opère de même, successivement et avec précaution, sur chaque bord, en humectant la membrane avec l'haleine. Quand l'extension est opérée, on ajoute une goutte de picrocarminate au milieu du fragment, et on recouvre rapidement avec une lamelle plus petite que le morceau de membrane qui la dépasse ainsi de tous les côtés. On borde alors, à la paraffine, en comprenant dans la bordure la marge membraneuse dépassant la bordure.

On prépare de même toutes les autres membranes.

L'imprégnation au nitrate d'argent se fera soit en faisant flotter la membrane, après lavage à l'eau distillée, dans la solution d'argent à 1 pour 300, soit en instillant le liquide sur la membrane tendue en place et qu'on ne sépare qu'après fixation et imprégnation par le nitrate.

On peut ensuite colorer par le picrocarminate, mais si l'on veut étudier les cellules connectives placées sous l'endothélium, il faudra brosser cet épithélium avec un pinceau.

Si l'on veut, au contraire, examiner le processus de perforation du grand épiploon, on devra opérer en place, sur une membrane non lavée ni brossée, afin que le nitrate d'argent y saisisse les éléments, et notamment les cellules lympathiques, dans l'état actuel. On choisira, pour ces préparations, le grand épiploon du rat, du cochon d'Inde, du lapin (de 2 ou 3 mois au plus), du chien, etc., et pour étudier le processus de perforation, ceux du chien ou du chat nouveau-nés, ou le mésentère de la grenouille.

Pour faciliter l'examen du réseau élastique de ces membranes, on pourra dédoubler par insufflation le mésentère du

lapin. En piquant, avec un tube de verre effilé en pointe tranchante, la superficie de cette membrane dans un point où elle est plus épaisse, au voisinage d'un vaisseau, par exemple, et en soufflant dans le tube, on fait pénétrer une certaine quantité d'air qui décolle le feuillet superficiel. On enlève le feuillet qui contient les vaisseaux et on examine dans le picrocarminate l'autre feuillet qui contient la plus grande partie du réseau élastique.

Quant au tissu adipeux, nous avons donné, soit en traitant des cellules adipeuses, soit en décrivant les procédés de préparations les plus démonstratifs du tissu cellulaire lâche, des renseignements qui permettront de l'étudier facilement. Rappelons les injections interstitielles avec le nitrate d'argent à 1 pour 1000 qui donne les préparations les plus instructives, les injections ou macérations avec l'acide osmique à 1 pour 300 qui colore la matière grasse en noir-brun, le traitement par le bleu de quinoléine alcoolique qui teint cette même matière en bleu, particulièrement après lavage avec la potasse à 40 pour 100. On peut, enfin, mettre les noyaux en évidence à l'aide du picrocarminate.

CHAPITRE V

TISSU CARTILAGINEUX

I

PROPRIÉTÉS DU CARTILAGE

Le tissu cartilagineux est caractérisé par la présence de cellules renfermées dans une capsule et éparses dans une *substance fondamentale* dont la composition varie suivant l'espèce de cartilage que l'on considère.

On sait que le squelette de l'embryon est d'abord entièrement

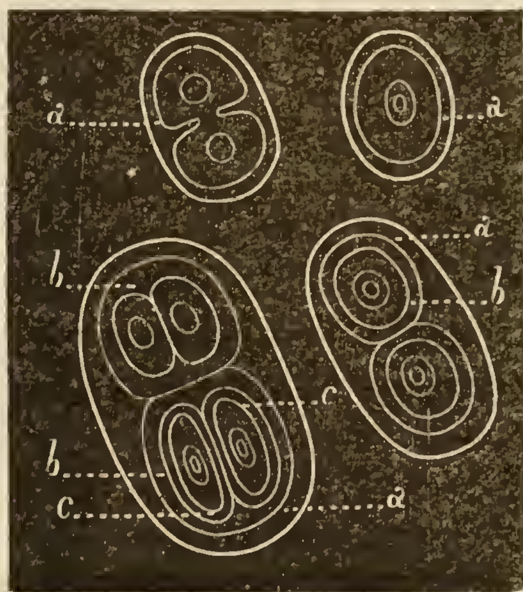


Fig. 53. — Multiplication des cellules de cartilage (schéma).

Dans la 1re figure, la cellule est simple avec son épaisse capsule *a*, son noyau et son nucléole; dans la 2e, le noyau s'est dédoublé, le nucléole a disparu et le protoplasma s'étrangle; dans la 3e, les deux cellules sont complètes et enveloppées chacune d'une nouvelle capsule *b*; dans la 4e, la cellule supérieure est en voie de division, mais l'inférieure est déjà dédoublée en deux cellules complètes avec de nouvelles capsules *c*.

cartilagineux et que, dans la suite du développement, le tissu osseux se substitue, du moins chez les Mammifères et les

Oiseaux, au tissu cartilagineux. C'est dans les vertèbres permanentes, composées alors uniquement de cellules embryonnaires arrondies, que ce tissu commence à apparaître par l'accumulation, entre ces cellules, d'une substance anhyste, substance fondamentale, et le *cartilage embryonnaire* se trouve ainsi constitué ; ces cellules, par conséquent n'ont pas encore de capsule. Le *cartilage fœtal* n'en diffère que par l'augmentation de la substance fondamentale et la déformation des cellules, résultant de la pression.

Puis, les cellules sécrètent une capsule qui les entoure, et chaque génération de cellules issue par division, bien que s'entourant d'une nouvelle capsule secondaire, tertiaire, etc., reste néanmoins enfermée dans la capsule primaire de la cellule primitive, laquelle capsule finit par se fondre peu à peu dans la substance fondamentale ambiante. La cellule du cartilage nous offre donc un exemple de génération endogène, ainsi que nous l'avons expliqué dans un précédent chapitre.

La substance fondamentale, elle-même, subit pendant ce temps diverses modifications :

Elle reste amorphe, transparente,et l'on a le *cartilage hyalin;*

Elle se décompose en faisceaux conjonctifs,et l'on a le *cartilage fibreux* qui peut prendre l'aspect d'un réseau et former le *cartilage réticulé ;*

Elle se pénètre de fibres élastiques formant des réseaux plus ou moins compliqués, et l'on a le *cartilage réticulé élastique.*

De plus, toutes ces différentes formes de cartilage peuvent se pénétrer, s'incruster de molécules calcaires, et l'on dit que le cartilage est *calcifié.*

La cellule de cartilage est un élément dont la forme est très-variable, arrondie, ovalaire, lenticulaire, anguleuse etc. ; ses dimensions sont aussi très diverses, de 18 à 22 μ. Elle possède toujours un noyau vésiculeux, avec un ou plusieurs nucléoles et un protoplasma granuleux dans lequel on constate très-souvent l'existence de gouttelettes huileuses et de matière glycogène. Enfin, elle est entourée d'une capsule dont elle remplit, à l'état vivant, toute la cavité, sans y adhérer, et elle manque de membrane propre.

Cette cellule, telle que nous venons de la décrire rapidement, est éminemment rétractile. Aussitôt qu'une coupe a été pratiquée dans un cartilage, l'air amène la rétraction de la cellule avec laquelle il est en contact ; celle-ci se ratatine, se festonne sur ses bords et cesse de remplir la cavité de la capsule. Peu à peu, l'action de l'air se poursuivant, toutes les cellules, même celles qui n'ont pas été atteintes par la coupe, subissent la même rétraction. L'eau produit le même effet, peut-être encore plus rapidement que l'air.

Pour étudier le cartilage, il faut donc faire rapidement des coupes à sec avec un rasoir sur un tissu frais, l'étudier dans son propre plasma et border tout de suite la lamelle avec de la paraffine. On peut aussi opérer dans le sérum du sang. L'eau salée à 1 p. 100 de chlorure de sodium, la potasse à 40 p. 100, l'acide picrique, le nitrate d'argent à 1 p. 1000 et surtout l'alun à 5 p. 1000, peuvent aussi servir à cette étude ; mais tous ces liquides ne font que retarder plus ou moins la rétraction des cellules qui se produit toujours au bout de quelques jours au plus.

Deux réactifs sont très-commodes pour distinguer la cellule de sa capsule : l'eau iodée, d'une part, qui colore fortement en jaune le protoplasma cellulaire, tandis qu'elle agit peu sur la substance fondamentale (1) ; et, d'autre part, le nitrate d'argent qui teint au contraire fortement en noir la substance fondamentale sans agir sur les cellules, surtout si l'on étudie la préparation dans la glycérine qui rend ces dernières tout à fait transparentes. La limite des capsules où sont logées les cellules se trouve donc fortement accusée comme par des trous vides dans une lame noire.

Pour observer les noyaux, on peut les colorer par le picrocarminate, après durcissement à l'acide picrique ou à l'alcool; mais la meilleure matière colorante est la purpurine dans laquelle on dépose, pendant 24 heures, les coupes minces faites, avec un rasoir sec, dans un tissu qu'on peut traiter d'abord par l'acide picri-

(1) A moins qu'elle ne contienne des faisceaux conjonctifs ou des fibres élastiques qui, on le sait, sont fortement jaunis par l'iode.

que. Après lavage et montage dans la glycérine, la préparation montre la substance fondamentale un peu rosée, le protoplasma, incolore, remplissant toute la capsule, et les noyaux, rouges, offrant un double contour avec un ou plusieurs nucléoles. On ne trouve de cellules rétractées que là où les capsules ont été ouvertes par le rasoir, et même on peut constater l'existence de capsules vides, la cellule en ayant été enlevée par l'instrument tranchant.

L'acide osmique ne peut être employé que pour caractériser la matière grasse, car les cellules se rétractent bientôt. La coloration par le bleu de quinoléine suivie d'un lavage à la potasse teint aussi les gouttelettes graisseuses en bleu foncé, le protoplasma en bleu clair, tandis que la substance fondamentale devient violette et que les noyaux restent incolores.

Ces divers procédés permettent de reconnaître la disposition des cellules. C'est ainsi que dans les cartilages hyalins qui revêtent les surfaces articulaires des os, on constate que les cellules ne sont pas orientées de la même manière à la partie profonde et à la surface; à la région profonde, avoisinant l'os, les cellules sont ovalaires, allongées, avec leur grand axe perpendiculaire à la surface; ce qui donne au tissu un aspect fibrillaire, bien qu'il ne soit pas fibreux, et fait que, si l'on déchire le cartilage dans cette partie, il se rompt suivant la direction de ces cellules. Dans la partie moyenne, les cellules sont plus arrondies, et dans la partie superficielle elles s'aplatissent dans le sens transversal, parallèle à la surface; aussi les déchirures du tissu faites dans cette région suivent cette direction.

Cette disposition moléculaire explique l'effet d'une lame de cartilage diarthrodial coupée perpendiculairement à sa surface, sur la lumière polarisée. Lorsque les Nicols sont croisés, on observe que les rayons polarisés traversent le cartilage en certaines parties qui se présentent ainsi comme biréfringentes, tandis que d'autres restent plus ou moins obscures et sont par conséquent monoréfringentes. Les parties claires, biréfringentes, sont la zone superficielle et la zone profonde où les cellules ayant une orientation, ici perpendiculaire, là parallèle à la

surface, la matière intercellulaire se trouve comprimée dans un certain sens perpendiculaire ou parallèle à la surface du cartilage. De cette compression résulte, comme on sait, la propriété de la double réfraction. Dans la partie moyenne, au contraire, où les cellules sont arrondies, la pression est égale dans tous les sens et la zône reste monoréfringente, c'est-à-dire obscure dans la lumière polarisée quand les Nicols sont croisés.

Ajoutons qu'au-dessous de ce que nous avons appelé la zône profonde, biréfringente, il s'en trouve ordinairement deux autres formées par le cartilage incrusté de matière calcaire et qui paraissent, l'une sombre, (monoréfringente), l'autre claire, (biréfringente), effets dus à la matière calcaire elle-même et ne résultant plus d'une propriété inhérente au cartilage.

La preuve que la disposition moléculaire du cartilage est la cause de l'action de ce tissu sur la lumière polarisée, c'est que le cartilage embryonnaire, composé de la même substance, mais dont les cellules, encore arrondies, ne sont point déformées par la substance fondamentale, qui, elle-même, n'est pas encore comprimée par les cellules, n'est nullement biréfringent. Par la même raison, la couche superficielle d'un cartilage diarthrodial pris chez l'adulte redevient monoréfringente lorsque, par suite d'une maladie articulaire, elle se ramollit et que ses cellules se gonflent; elle perd ainsi sa disposition stratifiée et en même temps sa biréfringence; elle ne laisse plus passer alors les rayons de la lumière polarisée.

Les cartilages fibreux et élastiques, dont nous avons déjà parlé en traitant du tissu conjonctif, ne diffèrent du cartilage hyalin que par la présence dans la substance fondamentale des faisceaux connectifs ou des fibres élastiques qui forment des réseaux entre les cellules, réseaux qui naissent, nous l'avons dit, dans le voisinage des groupes de cellules. Le périchondre, membrane fibreuse qui revêt les cartilages diarthrodiaux sur les bords de l'articulation, ceux du larynx, les anneaux de la trachée, etc., présente une disposition analogue à celle des tendons près de leur insertion. Les capsules du cartilage s'allongent, limitant entre elles des travées de subs-

tance fondamentale qui s'enfoncent dans le périchondre, tandis que les cellules perdent peu à peu leurs caractères pour devenir enfin des cellules connectives. S'il s'agit d'un cartilage réticulé, les réseaux de fibres élastiques intercapsulaires



Fig. 54. — Cartilage aryténoïde.
Coupe montrant l'origine des fibres élastiques dans le voisinage des îlots de cellules.

s'enfoncent dans le périchondre et le traversent pour se répandre dans le tissu conjonctif voisin, ainsi que nous l'avons expliqué (Fig. 54).

L'aspect du tissu, bleuâtre et nacré, dans le cartilage hyalin, varie naturellement avec sa composition histologique. Les cartilages fibreux présentent un aspect plus ou moins fibrillaire et même velouté ; leur couleur peut devenir jaunâtre. La consistance élastique, flexible, du cartilage hyalin qui permet de le déchirer, devient extrême et sa ténacité considérable quand il est fibreux et élastique. Soumis à la coction, le cartilage hyalin fournit surtout de la *chondrine;* le cartilage fibreux donne surtout de la *gélatine.*

Dans les animaux inférieurs, le cartilage présente parfois des cellules d'une forme particulière qu'on retrouve dans les tumeurs dites *chondrômes*, chez l'homme. On cite le cartilage crânien des Céphalopodes, dans lequel les cellules, disposées aussi par îlots, s'envoient des prolongements ramifiés d'un îlot à l'autre, de sorte que ces amas de cellules ont l'aspect de corpuscules osseux.

II

DÉVELOPPEMENT DU TISSU CARTILAGINEUX

Ce sont les cellules du feuillet moyen du blastoderme qui produisent le tissu cartilagineux, lequel prend naissance dans la corde dorsale pour former les vertèbres primitives. La corde dorsale constitue ainsi un axe cartilagineux sans articulation, mais portant des renflements correspondants aux disques intervertébraux de la future colonne vertébrale. Elle s'étend sur toute la longueur de l'embryon, depuis la partie céphalique, où elle est arrondie, jusqu'à l'extrémité inférieure, où elle s'effile en pointe. Les cellules de la corde dorsale sont arrondies, vésiculeuses, transparentes, molles, unies les unes aux autres, enveloppées d'une membrane mince et contiennent un noyau pariétal. Ce tissu sans substance fondamentale n'a donc qu'un rapport assez éloigné avec le cartilage, mais les cellules paraissent se multiplier par voie endogène comme celles du cartilage (Kölliker, Luschka, H. Müller).

Ce système, destiné à disparaître pour ne laisser chez le nouveau-né que des traces ou des témoins de son existence, ne concourt pas directement à la formation du squelette embryonnaire, tout entier cartilagineux, mais c'est autour de lui que les cellules embryonnaires du feuillet blastodermique moyen se groupent d'abord pour former les vertèbres primitives, lesquelles, à leur tour, donneront naissance, vers la 6e ou 7e semaine, chez l'homme, aux vertèbres permanentes. Dans cette formation, il est possible que chaque vertèbre primitive se dédouble en une moitié supérieure qui se joint à la moitié inférieure de la vertèbre qui est au-dessus, et une moitié inférieure qui se joint à la moitié supérieure de la vertèbre qui est au-dessous, pour constituer le corps de deux vertèbres permanentes. C'est du moins ce que Remak a observé chez le poulet.

Pendant que se forment ainsi les corps des vertèbres, la

corde dorsale comprise dans chaque corps s'atrophie peu à peu, excepté dans les espaces intervertébraux où se développent des ligaments fibreux, conservant dans leur centre une sorte de noyau d'aspect muqueux ou gélatineux, reste de la corde dorsale. D'autres vestiges de cet organe passager se trouvent encore, après la naissance, au coccyx, dans l'apophyse odontoïde et à la base du crâne.

Le tissu, cartilage embryonnaire, des vertèbres permanentes se développe et devient cartilage fœtal, les cellules prolifèrent, la substance fondamentale devient de plus en plus abondante, et bientôt un squelette cartilagineux tout entier se trouve formé, comprenant une colonne vertébrale complète, des côtes, un sternum, des membres supérieurs et inférieurs, un crâne incomplet dont la voûte n'est formée que par une capsule fibreuse. Ces parties sont destinées à disparaître à leur tour pour faire place au squelette osseux dans lequel plusieurs os remplaceront souvent une seule pièce cartilagineuse de l'embryon (sternum, bassin). Quelques-unes de ces pièces, cependant, persisteront, et on les retrouvera chez l'adulte, tandis que d'autres, principalement dans le crâne et la face, disparaîtront sans être jamais remplacées par des os.

On peut donc encore, sous ce point de vue, diviser les cartilages en *cartilages transitoires* et en *cartilages permanents*. Chez certains animaux, le squelette reste cartilagineux pendant toute la durée de l'existence.

Nous avons vu comment se produit l'accroissement du cartilage, par multiplication dite endogène des cellules qui forment ainsi des îlots enveloppés par les systèmes des capsules, lesquelles capsules s'effacent, peu à peu, à la périphérie, dans une substance fondamentale, de plus en plus abondante. Les cellules augmentent non-seulement en nombre, (et suivant Harting, elles se multiplient aussi par division), mais encore en taille; dans le cartilage costal du nouveau-né, on trouve trois ou quatre fois autant de cellules que chez le fœtus de quatre mois, et celles-ci sont environ quatre fois plus grandes, tandis que chez l'adulte, elles sont de huit à douze fois plus grandes encore que chez le nouveau-né. Chez le fœtus, la masse

de la substance fondamentale est à peu près égale à celle des cellules, mais elle est double chez l'adulte (Harting, Krieger).

Pendant leur période de croissance, les cellules de cartilage contiennent de la matière glycogène sans graisse; mais quand cette période est terminée, elles renferment de la matière grasse en plus ou moins grande quantité, mais plus de substance glycogène.

Outre les modifications que subissent les cartilages transitoires ou permanents, et qui, portant sur la substance fondamentale, transforment le tissu en cartilage fibreux ou élastique, d'autres phénomènes peuvent s'observer, portant soit sur la substance fondamentale, soit sur celle-ci et sur les cellules. En dehors de l'infiltration graisseuse dont nous avons parlé, on observe la *calcification* (qui n'est pas du tout une ossification) et le *ramollissement* qui précède la disparition du tissu.

Tous les cartilages permanents finissent, en général, par se calcifier, mais ceux qui sont destinés à disparaître pour faire place au squelette osseux peuvent aussi, lorsqu'ils ont atteint tout leur développement, se calcifier, c'est-à-dire s'incruster de molécules calcaires très-fines, réunies souvent en masses épaisses dans la substance fondamentale autour des îlots cellulaires, et même dans les capsules des cellules (mais non dans le protoplasma). Tels sont les cartilages costaux chez l'adulte, et ceux du larynx. On peut aussi trouver dans ces tissus des points d'ossification véritable avec formation de corpuscules osseux, mais ce n'est pas le cartilage qui s'est ossifié; il s'est ramolli, quoique étant calcifié, s'est dissous et du tissu osseux s'est développé à sa place.

C'est, en effet, à l'état de ramollissement que l'on trouve les portions du squelette cartilagineux primitif destinées à être remplacées à la fin de la période fœtale, ou pendant les premières années de la vie, par du tissu osseux. La masse fondamentale commence par subir une transformation gélatineuse en divers points qui deviennent de plus en plus nombreux, et fusionnent, formant des cavités dans lesquelles les cellules devenues libres se détruisent; des lacunes canaliculées s'établissent, s'ouvrent sur le périchondre ou s'abouchent aux

canaux de Havers des os voisins, et l'on y voit apparaître des cellules de la moelle osseuse.

Les cartilages sont facilement perméables, aussi leur nutrition paraît se faire surtout par imbibition, car ils ne renferment pas de vaisseaux, ou du moins en très-petite quantité, et encore n'en trouve-t-on que dans les cartilages destinés à être remplacés par des os. Il ne paraît pas non plus qu'ils contiennent de nerfs.

PRÉPARATION

Les préparations de cartilage sont, en général, faciles. La consistance du tissu permet le plus souvent d'en faire des coupes à main levée avec le rasoir, sans durcissement préalable. Mais on ne peut les examiner dans l'eau; il faut employer l'alun à 5 pour 1000, l'acide picrique, le chlorure de sodium à 1 pour 100, etc., comme liquide additionnel, ou bien les étudier dans leur plasma ou dans le sérum frais du sang pris sur une grenouille qu'on sacrifie. L'acide picrique est, d'ailleurs, un réactif d'une grande commodité pour l'étude du cartilage, dont il conserve longtemps les cellules. Il est presque toujours préférable de traiter les pièces par cet acide pendant environ 48 heures, surtout si l'on veut les colorer : si le cartilage est trop peu résistant, il le durcit ; s'il est incrusté de calcaire, il le décalcifie et, dans tous les cas, facilite la coupe. Pour le cartilage fœtal on peut employer l'acide osmique à 1 pour 300. Après lavage, on colore par la purpurine dont on emploie quelques centimètres cubes seulement. On peut souvent, d'ailleurs, ainsi que nous l'avons exposé, colorer directement les coupes par la purpurine, mais nous préférons l'emploi préalable de l'acide picrique.

Le picrocarminate peut remplacer la purpurine qui, cependant, donne de meilleures préparations, mais le carmin réussit mal. L'hématoxiline colore les éléments et la substance fondamentale en violet. L'éosine teint le protoplasma et le noyau de la cellule cartilagineuse en rose, mais ne colore pas la

substance fondamentale ; il faut conserver ces préparations dans la glycérine salée et teintée.

Le chlorure d'or, à 1 pour 200, colore en jaune pâle, au bout de quelques minutes, le cartilage coupé en très-petits morceaux ; on lave dans l'eau distillée, puis dans une eau légèrement aiguisée d'acide acétique, et on expose les fragments à la lumière qui les colore en violet. On fait alors des coupes qu'on monte dans la glycérine et qui fournissent de très-belles préparations dans lesquelles les noyaux sont dessinés en violet d'une manière remarquable, mais qui s'altèrent rapidement.

Pour faire les imprégnations au nitrate d'argent, on affranchit la surface d'un petit cartilage articulaire, par exemple celui du fémur de la grenouille, de manière à avoir une surface plane, puis on trempe le petit os, pendant 10 à 15 minutes, dans le nitrate à 1 pour 300. On lave alors, et l'on coupe la couche superficielle que l'argent a imprégnée.

CHAPITRE VI

TISSU OSSEUX

I

ÉLÉMENTS DU TISSU OSSEUX

Lorsqu'on examine sous un grossissement modéré la coupe transversale d'un os long, fémur, tibia, humérus, etc. (fig. 55) on reconnaît facilement qu'elle est percée à son centre d'un trou de forme plus ou moins arrondie, qui représente la section du *canal médullaire*, rempli, dans l'os vivant, par la moelle osseuse. Entre la circonférence de ce canal et la périphérie de la coupe, on remarque un grand nombre de trous beaucoup plus petits, ronds ou ovalaires, et qui représentent la section d'autres canaux, longitudinaux si le trou est rond, obliques si le trou est ovale. Ce sont les *canaux de Havers*. Entre ces divers trous, la substance osseuse se répartit en lamelles superposées, mais distribuées en divers systèmes. A la périphérie, les lamelles, dites *lamelles fondamentales externes*, ou plus simplement *périphériques*, sont concentriques et continues ; à la partie interne, sur le pourtour du canal médullaire, les lamelles, d'aspect généralement concentrique, sont cependant discontinues et représentent plutôt de grands arcs de cercle qui s'imbriquent les uns sur les autres, ce sont les *lamelles internes* ou *périmédullaires*. Entre ces deux systèmes qui forment comme un double anneau, les lamelles se groupent en un grand nombre de systèmes concentriques qui entourent chaque canal de Havers ; ce sont les *lamelles* ou *systèmes des canaux de Havers*. Enfin, ces systèmes circulaires disposés autour des canaux laissent entre eux des intervalles irrégulièrement triangulaires compris entre les points de tangence de leur courbe la plus externe. Ces intervalles sont composés de lamelles osseuses, circulaires aussi et concentriques, mais formés par des arcs

appartenant à des cercles beaucoup plus grands que ceux des systèmes de Havers. Ce sont les *lamelles intermédiaires*.

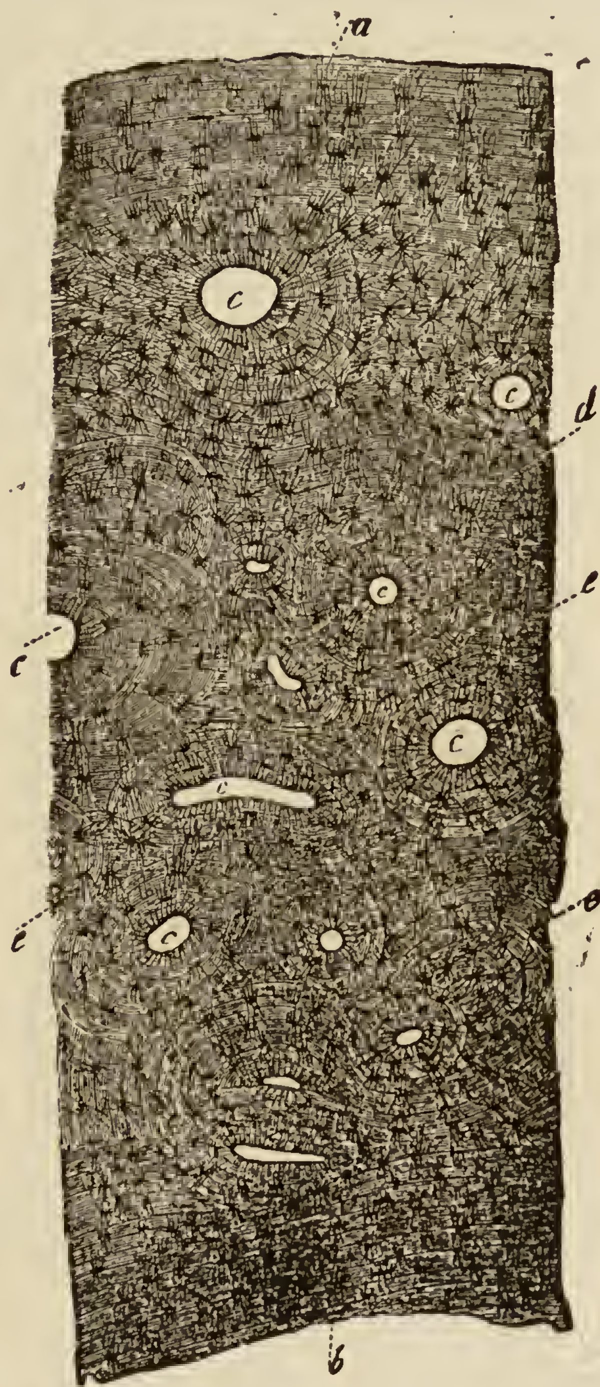


Fig. 55. — Coupe transversale d'un os long.

a, surface externe de l'os présentant les lamelles externes; *b*, surface médullaire avec lamelles internes; *c*, canaux de Havers avec leur lamelles; *d*, lamelles intermédiaires; *e*, corpuscules osseux.

Sur des coupes longitudinales, on vérifie très-facilement les

notions acquises par l'examen des coupes transversales et l'on reconnaît que l'os est parcouru dans sa longueur par des canaux généralement longitudinaux, mais qui s'obliquent pour s'anastomoser entre eux. Des deux côtés de la coupe de chaque canal de Havers, les lamelles se présentent sous forme de bandes parallèles au canal comme la section d'une série de tubes emboîtés l'un dans l'autre et dont le plus interne aurait pour lumière le canal de Havers lui-même. Dans les interstices de ces systèmes, on peut trouver des lamelles intermédiaires dont la direction longitudinale est la même.

Les canaux de Havers sont bien mis en évidence sur des coupes transversales ou longitudinales convenablement préparées comme nous l'indiquerons plus loin et colorées par le carmin ammoniacal.

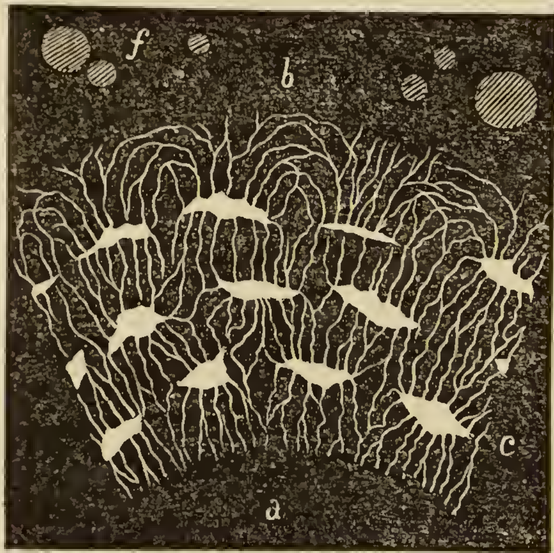


Fig. 56. — Corpuscules osseux et canalicules primitifs.
a, Canal de Havers; *b*, limite du système de Havers; *c*, corpuscules et canalicules primitifs; *f*, section des fibres de Sharpey dans les systèmes intermédiaires.

On peut donc se rendre très-bien compte de la structure d'un os long. Quant aux os plats, leur constitution est la même, et pour les os spongieux, on peut considérer les vacuoles dont ils sont criblés comme des canaux de Havers très-élargis, irréguliers, ne laissant entre eux qu'une très-petite quantité de substance osseuse, laquelle est aussi disposée en lamelles.

Mais, quelle que soit la direction de la coupe, on y remarque

une infinité de corpuscules étoilés qui, sur les préparations à sec ou dans le baume, paraissent noirs parce qu'ils sont pleins d'air. On les désigne sous le nom de *corpuscules osseux*, ou *d'ostéoplastes*. Ces corpuscules sont des cavités d'où partent en se ramifiant un grand nombre de petits canaux ou *canalicules primitifs*. Il est difficile d'étudier les corpuscules et les canalicules sur de telles préparations, mais si l'on fait macérer les coupes, bien dégraissées et grattées sur les deux faces, dans une solution alcoolique de bleu d'aniline, la matière colorante pénètre dans toutes les cavités, canaux de Havers, dont elle teint la paroi en bleu, cavités des corpuscules et canalicules qu'elle remplit. Si alors on lave la préparation avec de l'eau salée, le bleu se trouve fixé et rendu insoluble. On peut ainsi suivre le trajet des canalicules, et l'on remarque que les corpuscules sont des cavités irrégulières, anfractueuses, allongées dans le sens des lamelles, comme si elles étaient comprimées par ces lamelles. Elles sont, en effet, disposées par zônes concentriques parallèles aux lamelles. De ces cavités anfractueuses partent les canalicules, tortueux, ramifiés, anastomosés, mais dont la direction générale est perpendiculaire au grand axe de la cavité et par conséquent à la surface des lamelles (fig. 56).

Les canalicules du côté externe se dirigent donc vers la surface de l'os et vont s'anastomoser avec les canalicules internes des corpuscules situés sur la zône suivante ou tomber même directement dans ces corpuscules. Si l'on considère les corpuscules situés sur la zône la plus interne d'un système de Havers, on voit que les canalicules internes tombent généralement dans ce canal. Les canalicules externes des corpuscules situés sur la zône périphérique de ce même système se dirigent directement vers le système de Havers voisin, mais le plus grand nombre, au lieu de franchir la limite de leur système, se réfléchissent latéralement et vont s'anastomoser avec les canalicules semblables des corpuscules situés de chaque côté. Ce sont les *canalicules récurrents* (Ranvier).

On peut constater aussi que certains corpuscules paraissent atrophiés et réduits à une simple fente très-plate, ou *confluents lacunaires* (Ranvier).

De cet examen, il résulte que chaque système de Havers paraît constituer un *tout* complet et indépendant, ayant son canal central, ses lamelles, ses corpuscules et ses canalicules dont les cavités, en rapport avec son canal, communiquent peu ou point avec celles des systèmes voisins. Et, en effet, chez certains animaux, un seul système de Havers constitue un os tout entier, tels sont les os longs de la grenouille.

De plus, si l'on examine avec attention la coupe transversale que nous venons d'étudier, on découvre dans les lamelles intermédiaires comprises entre les systèmes concentriques de Havers des figures pâles, arrondies, qui se présentent comme la section transversale de fibres qui parcourraient l'os directement ou obliquement dans sa longueur, mais en restant dans les lamelles périphériques, périmédullaires ou intermédiaires, sans pénétrer dans celles des systèmes de Havers où l'on n'en rencontre jamais. Ce sont, en effet, des fibres que l'on peut isoler dans un os décalcifié par les acides et qui, signalées pour la première fois par Sharpey, sont désignées sous le nom de *fibres de Sharpey*. Les corpuscules osseux sont placés entre ces fibres, que les canalicules contournent pour s'anastomoser à l'entour, mais sans jamais les traverser (fig. 56).

Les fibres de Sharpey, qui sont surtout visibles dans les lamelles périphériques, s'observent facilement sur les os plats du crâne. Elles s'enfoncent à travers les lamelles comme des clous plantés obliquement dans des planches superposées. Sur ces os décalcifiés par l'eau acidulée l'acide chlorhydrique, on peut séparer les lamelles ramollies, et en enlevant les lames superficielles on arrache avec elles les fibres de Sharpey (appelées aussi *fibres pénétrantes*) qui y restent engagées absolument comme les clous du système de planches dont nous venons de parler, lorsqu'on arrache la planche supérieure.

Telle est la composition générale du tissu osseux, examinons maintenant de plus près les divers éléments que nous avons décrits rapidement.

Les lamelles osseuses présentent quelques particularités intéressantes : en faisant une préparation sur une coupe transversale, dans du baume du Canada fondu, de manière à péné-

trer les canalicules et à les rendres invisibles afin qu'ils ne gênent pas l'observation, on voit que les lamelles présentent une striation perpendiculaire à leur circonférence, striation qui ne traverse à peu près que la moitié de leur épaisseur, de sorte que l'ensemble présente l'aspect de lamelles concentriques, alternativement striées et homogènes. Avec un grossissement suffisant, on reconnaît que les stries sont formées par de petites cavités allongées dans le sens du rayon et séparées les unes des autres, tant en dessus et en dessous que sur les côtés, par des filaments de nature osseuse. Le même aspect se présente, en effet, sur les coupes longitudinales. C'est cette disposition qui avait amené Sharpey à considérer la substance osseuse comme formée de fibres passant les unes par dessus les autres, comme les filaments d'une étoffe.



Fig. 57. — Corpuscule avec la cellule osseuse intérieure.

La constitution lamelleuse des os et leur disposition par systèmes concentriques (systèmes de Havers), explique l'action de la substance osseuse sur la lumière polarisée. Une coupe transversale dans le baume montre, quand les Nicols sont croisés, chaque système de Havers devenu brillant, excepté suivant deux lignes perpendiculaires l'une à l'autre et formant une croix noire. L'aspect est absolument le même que sur des grains d'amidon dont la constitution est pareillement lamelleuse.

Si l'on fait tourner les prismes, polariseur ou analyseur, les croix tournent en même temps dans chaque système de Havers ; si l'on fait tourner au contraire la préparation sur la platine, les croix ne se déplacent pas, ce qui prouve que l'effet de chacun de ces systèmes sur la lumière polarisée est dû à la structure moléculaire et non à ce qu'il est formé de deux matières, l'une biréfringente composant la majeure

partie de ce système, l'autre monoréfringente disposée suivant deux diamètres qui se coupent perpendiculairement et déterminant l'apparition de la croix obscure.

Quant aux corpuscules osseux, quand on les examine avec de très-forts grossissements sur des préparations décalcifiées et colorées avec la purpurine, on les reconnaît pour des cavités anfractueuses dont naissent les canalicules primitifs et qui contiennent dans leur intérieur un noyau retenu par deux prolongements granuleux aux deux extrémités de la cavité.

Ces deux prolongements se présentent donc comme la coupe d'une lame de protoplasma tenant au centre un noyau. C'est la *cellule osseuse*. C'est à Virchow qu'on doit la connaissance de la nature cellulaire des corpuscules osseux. En traitant des os frais par l'acide chlorhydrique, il arrivait à isoler, non pas les protoblastes aplatis que nous venons de décrire, mais le corpuscule osseux lui-même, sous forme d'un corps étoilé et muni de prolongements plus ou moins longs et ramifiés.

Mais il y avait évidemment là une erreur d'interprétation, le corpuscule osseux n'est qu'une cavité renfermant une cellule aplatie, sans membrane, la véritable cellule osseuse, et si l'on peut isoler le corpuscule c'est que les parois en sont revêtues d'une mince couche calcifiée plus dense que la matière osseuse ambiante et qui se comporte sous les réactifs comme une sorte de capsule anfractueuse.

Il a été impossible jusqu'à présent de constater, dans les canalicules, l'existence de prolongements émanés de la cellule osseuse.

II

MOELLE

Les os sont creusés de cavités plus ou moins nombreuses, et certains d'un canal central. Ces canaux ou *espaces médullaires*, qui renferment des vaisseaux et des nerfs, contiennent aussi une substance d'aspect graisseux, quelquefois muqueux ou gélatineux, de couleur rouge ou jaunâtre. C'est la *moelle*.

La moelle, indépendamment des vaisseaux et des nerfs dont nous nous occuperons plus tard, est constituée, par un réseau très-lâche de faisceaux conjonctifs contenant des éléments cellulaires de diverses formes.

Les plus importants à considérer sont les *cellules médullaires* proprement dites ou *médullocelles* dont la dimension varie de 5 à 15 μ. Elles ont une grande analogie avec les cellules embryonnaires ou plutôt avec les cellules lymphatiques, dont elles ont la forme généralement arrondie, la transparence et même les mouvements amiboïdes lorsqu'on les chauffe vers 30° à 35°. Les cellules médullaires de la grenouille sont douées de mouvements amiboïdes à la température ordinaire. — Examinées à l'état vivant dans le sérum du sang, elles ne présentent pas de noyau; ce n'est qu'après leur mort, par l'action des réactifs, l'alcool, l'acide acétique, l'eau même, qu'elles montrent un noyau arrondi ou replié en bissac. Les plus petites de ces cellules, surtout chez les animaux jeunes, contiennent des granulations d'un jaune-rouge ou brun, et comme Neumann et Bizzorero y ont trouvé des noyaux, ils ont comparé ces cellules aux globules rouges nucléés du sang des embryons et ont conclu de cette observation que la moelle a la propriété de fabriquer des globules rouges. Cette hypothèse paraît difficile à soutenir; il semble bien plus probable que ces granulations proviennent de la destruction de globules rouges, comme cela se produit dans la rate, et qu'elles ont été englobées par les cellules lymphatiques, ainsi que nous l'avons expliqué antérieurement.

Bizzorero a signalé aussi, dans la moelle, la présence de grandes cellules à noyaux bourgeonnants, ramifiés ou multiples, à protoplasma granuleux. Ces cellules n'ont plus de mouvements amiboïdes.

On y trouve même des cellules plus grandes encore, *cellules gigantesques*, *cellules-mères* ou *myéloplaxes*, de Robin, contenant un nombre considérable de noyaux à nucléoles, qui paraissent bourgeonnants. L'origine et le rôle de ces cellules, déjà signalées par Joh. Müller dans certains sarcômes des os, sont encore mal connus.

Les cellules adipeuses existent aussi en plus ou moins grande quantité et la moelle contient souvent jusqu'à 80 p. 100 de graisse. — Dans la moelle jeune, plus particulièrement rouge, la moelle fœtale, les cellules adipeuses sont rares. — Mais avec l'âge, la matière grasse s'accumule dans les cellules et la moelle prend un aspect jaunâtre.

Enfin, dans les cavités médullaires des os en voie de développement, on trouve des cellules particulières qui proviennent peut-être d'une transformation des cellules médullaires et que Gegenbaur a décrites sous le nom d'*ostéoblastes* en leur attribuant la propriété de sécréter la substance osseuse. Leur forme est extrêmement variable, prismatique, polyédrique, arrondie ou irrégulière. Leur diamètre est souvent assez considérable. Elles n'ont pas de mouvements amiboïdes et possèdent un noyau ordinairement excentrique.

Nous verrons plus loin le rôle de la moelle et des ostéoblastes, en particulier, dans le développement des os.

III

PÉRIOSTE

Les os sont enveloppés par une membrane fibreuse qu'on désigne sous le nom de *périoste* et dont la structure se rapproche beaucoup de celle des autres membranes de tissu conjonctif que nous avons déjà étudiées. Elle est composée de deux couches dont la plus extérieure, la plus épaisse, est formée de faisceaux conjonctifs séparés par un réseau de fibres

élastiques; la couche interne, plus mince, a une structure analogue, mais le réseau élastique est plus développé, formé de fibres plus nombreuses et plus fines, les faisceaux conjonctifs sont plus minces, et le tissu, dont les éléments ont une direction plus ou moins longitudinale, est parcouru par un grand nombre de vaisseaux, plus ou moins sinueux, dont certains sont à moitié compris dans la couche périostique et à moitié dans une rainure ou gouttière creusée à la surface de l'os. Les faisceaux conjonctifs sont recouverts de cellules connectives qui y sont étroitement appliquées.

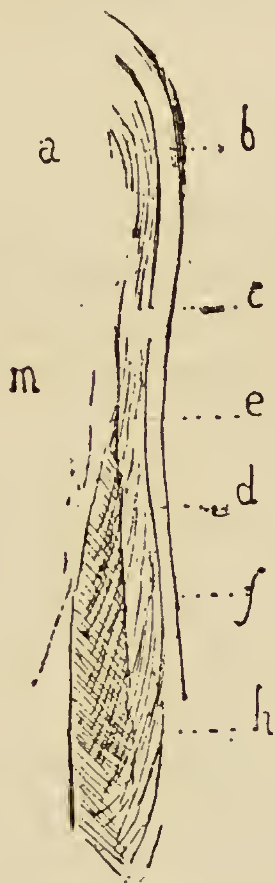


Fig. 58. — Origine des fibres arciformes du périoste dans le cartilage épiphysaire d'un os long.

a, cartilage épiphysaire; *b*, périchondre se continuant avec le feuillet externe; *d*, du périoste; *e*, couche profonde du périoste; *c*, encoche d'ossification; *f*, fibres arciformes; *h*, os périostique; *m*, os médullaire.

Le périoste adhère fortement à l'os qu'il recouvre et si l'on recherche la cause de cette adhérence, on s'aperçoit qu'un grand nombre des fibres, après avoir parcouru un trajet plus ou moins long dans l'épaisseur de la membrane, s'en détachent pour s'enfoncer obliquement dans l'os sous-jacent. En raison de la courbe qu'elles décrivent, on désigne ces fibres sous le nom de *fibres arciformes*. Ce sont elles qui, en se calcifiant dans l'os, deviennent les fibres de Sharpey. Elles proviennent originairement du cartilage. Ainsi, si l'on examine la coupe longitudinale d'un os long, par exemple, en voie de formation chez le fœtus ou chez un très-jeune animal, on voit le cartilage de l'épiphyse, recouvert du périchondre qui se continue sur la diaphyse, avec la couche externe du périoste, émettre en une certaine région de sa circonférence ces fibres qui se prolongent dans la couche interne du périoste, puis s'infléchissent en dedans pour

pénétrer dans l'os. (fig. 58.) En même temps, elles entraînent avec elles les cellules conjonctives dont elles sont recouvertes, cellules qui, à cette époque, c'est-à-dire lorsque la croissance de l'os n'est pas achevée, forment la majeure partie de la couche interne du périoste à la surface de l'os où elles se sont gonflées en reprenant les caractères embryonnaires. Ce sont ces cellules qui, dans l'os formé sous le périoste, seront les cellules médullaires et les ostéoblastes.

Enfin, en même temps que les fibres arciformes, une grande quantité de vaisseaux pénètrent dans l'os, où ils jouent, dans la période du développement, un rôle des plus importants.

IV

DÉVELOPPEMENT DES OS

Nous avons dit que, chez l'embryon, le squelette est entièrement cartilagineux et même, en certains points, fibreux; par exemple, à la voûte crânienne. Nous aurons donc à examiner la formation des os qui succèdent à un cartilage et celle des os qui succèdent à une membrane conjonctive.

Formation des os succédant à un cartilage. Prenons d'abord pour exemple un os long, un fémur. Le processus de formation se produit dans deux sens différents, par le cartilage des extrémités de l'os (épiphyses), qui produit l'accroissement en longueur, et par le périchondre devenu périoste, qui produit l'accroissement en largeur.

Si l'on fait une coupe mince sur l'os en voie de formation d'un fœtus ou même d'un jeune animal, os qu'on a eu le soin de décalcifier préalablement, et qu'on l'examine dans la région épiphysaire, on constate que la partie extrême du cartilage est restée à l'état fœtal, mais qu'à mesure qu'on se rapproche du corps de l'os, le tissu change d'aspect; il est incrusté de matière calcaire et les cellules sont disposées en séries dans le sens de la longueur de l'os, elles sont resserrées par groupes, tassées les unes contre les autres en piles de plus en plus longues et pressées à mesure qu'elles se rapprochent davantage du corps de l'os. C'est ce que Ranvier appelle *cartilage sérié*. Plus

loin encore, les éléments sont plus grands, plus rapprochés, les piles de plus en plus longues et les capsules qui les contiennent finissent par s'ouvrir les unes dans les autres, formant des cavités allongées, festonnées sur leurs bords qui sont nets et tranchés, et les cellules cartilagineuses sont devenues libres dans l'intérieur de ces espaces qui sont les premiers *espaces médullaires*. La substance fondamentale qui les sépare, sous forme de travées à bords déchiquetés, est encore de nature cartilagineuse, car le bleu d'aniline alcoolique la colore, ainsi que la purpurine; or, ces réactifs colorent le cartilage, l'un en bleu, l'autre en rose, tandis qu'ils n'agissent pas sur la matière



Fig. 59. — Formation de l'os cartilagineux.

a, cartilage sérié; *b*, cartilage ostéoïde; *m*, ligne d'ossification; *e*, jeune os avec espaces médullaires; *d*, os plus avancé avec corpuscules osseux, ostéoblastes et vaisseaux; *t*, travées directrices.

osseuse. Le carmin, au contraire, ne colore pas ces travées, tandis qu'il teint en rouge la substance osseuse de nouvelle

formation. Ce tissu, qui n'est que calcifié, n'est donc pas encore de l'os, c'est un *tissu ostéoïde* (Ranvier), mais au-dessous de ce tissu, en se rapprochant encore du corps de l'os, on remarque une ligne plus ou moins sinueuse au-delà de laquelle le tissu a un aspect différent, c'est l'os vrai qui commence et la ligne sinueuse est la *ligne d'ossification*. Au delà de cette ligne, en effet, les cavités médullaires, plus agrandies encore et pleines de cellules, sont bordées d'un liseré compact qui en suit les festons, liseré de plus en plus épais à mesure qu'on l'examine plus loin de la ligne d'ossification. Sur des préparations colorées au carmin, ce liseré paraît d'un rouge caractéristique tandis que la partie centrale des travées demeure incolore. Ce liseré est donc composé de substance osseuse formée sur la paroi des cavités médullaires, le long des travées cartilagineuses qui donnent ainsi une direction au travail de l'ossification et qui sont les *travées directrices* (Ranvier).

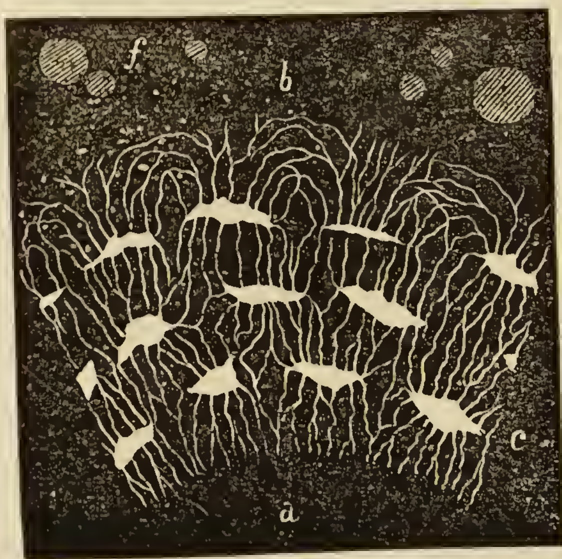


Fig. 60. — Disposition des canalicules primitifs entre les corpuscules osseux.

En s'éloignant encore de la ligne d'ossification, on voit, ainsi que nous l'avons dit, que le liseré osseux est de plus en plus épais, certaines des cellules que contenaient les cavités médullaires sont englobées à moitié dans la substance osseuse et y ont revêtu un aspect étoilé, d'autres y sont entièrement enfoncées et sont devenues des corpuscules osseux; mais entre

les cellules osseuses, qui se trouvent de plus en plus profondément engagées dans la substance compacte, et la cavité médullaire la plus voisine, de fines communications canaliculées ont été ménagées par le dépôt osseux, ce sont les canalicules primitifs. A mesure que ces cellules s'enfoncent davantage dans la masse osseuse par le dépôt de couches successives de matière sur le bord de la cavité médullaire, les communications qui avaient été ménagées par le dépôt entre elles et cette cavité cessent de s'ouvrir dans la cavité elle-même, mais viennent tomber sur de nouvelles cellules englobées à leur tour, et ainsi de suite. Il en résulte que les rangs de corpuscules osseux ainsi compris entre les couches ou lamelles successivement et concentriquement formées de dedans en dehors autour de chaque cavité médullaire, ne communiquent plus que médiatement, par l'intermédiaire les uns des autres, avec la cavité centrale (canal de Havers), la rangée la plus interne seule étant en communication directe avec cette cavité (1).

(1) Les histologistes ne sont pas d'accord, nous l'avons dit, sur la question de savoir si les cellules osseuses comprises dans la cavité des corpuscules émettent des prolongements dans les canalicules. Il nous paraît à peu près certain qu'après que le processus de formation est complet, que la cellule a perdu toute activité, qu'elle est réduite à un noyau compris dans une mince lame de protoplasma n'occupant plus qu'une faible partie de la cavité du corpuscule, à cet état, disons-nous, il nous paraît certain qu'elle n'émet pas de prolongements. Mais au moment où elle est enfouie, pour ainsi dire, toute vivante dans la masse osseuse de nouvelle formation et encore peu dense, elle envoie des prolongements soit à l'aide d'un mouvement actif, peut-être amiboïde, soit par un effet de simple compression, prolongements qui ne peuvent se frayer facilement un chemin que dans la partie la plus molle de la néo-formation, c'est-à-dire dans la partie interne, la plus voisine de la cavité médullaire. C'est autour de ces prolongements, et en les ménageant, que se formerait peu à peu la matière osseuse, ce qui expliquerait comment les corpuscules d'un même système de Havers communiquent toujours par leurs canalicules avec les corpuscules de la rangée plus interne, tandis que ceux de la rangée limite ont des canalicules récurrents. Lors de leur enfouissement, ces dernières cellules se trouvaient au rang le plus interne, le seul existant alors ; elles ont envoyé des prolongements centripètes vers la cavité, et ceux-ci ont été ménagés, et des prolongements centrifuges vers la périphérie ; ces derniers ont trouvé de ce côté une substance osseuse déjà solide, et se sont infléchis pour rester ou revenir dans une zone plus perméable, zone dans laquelle ils ont ren-

Nous avons indiqué cette disposition antérieurement.

En étudiant des coupes d'os de plus en plus et de moins en moins développés, on reconnaît que le processus d'accroissement en longueur se produit bien ainsi qu'on peut le déduire des faits que nous venons d'exposer :

Le cartilage fœtal se calcifie, ses cellules se disposent en séries longitudinales qui se serrent de plus en plus et, à mesure que la croissance du cartilage les pousse vers le corps de l'os, ouvrent leurs capsules les unes dans les autres. La croissance du cartilage est démontrée par ce fait qu'on trouve en voie de prolifération toutes les cellules sériées et même celles qui avoisinent la ligne d'ossification. En ce point, malgré l'infiltration calcaire, les cellules ont repris l'état embryonnaire, se sont agrandies et, tout en se multipliant activement, ne forment plus de capsules autour d'elles et restent libres dans la cavité de leurs capsules primitives qui s'ouvrent les unes dans les autres pour former les cavités allongées, festonnées que nous avons appelées cavités médullaires, futurs canaux de Havers. A mesure qu'elles s'enfoncent dans le corps de l'os, un dépôt de plus en plus abondant de substance osseuse se forme, par couches successives, sur la paroi des cavités médullaires pleines de cellules; celles-ci deviennent alors, sans doute, des cellules de la moelle et quelques-unes, prises sous les couches osseuses, deviennent des corpuscules osseux. A mesure que ces couches se déposent, la substance fondamentale carti-

contré, venant des cellules voisines, des prolongements, à la recherche comme eux, d'une issue. Un petit nombre seulement ont pu se ménager un trajet direct vers la périphérie du système Dans les rangées de corpuscules successivement englobés après ceux-ci, les prolongements partis du côté de la périphérie n'ont eu qu'un court trajet à faire pour rencontrer les canalicules centripètes déjà formés de leurs prédécesseurs et s'y sont abouchés. En examinant avec soin les anastomoses des canalicules entre deux rangées voisines de corpuscules, on reconnaît des traces parfois évidentes de ce processus. — Ainsi, les canalicules sont bien *primitifs* et non percés après coup ; ils sont ménagés par la substance osseuse autour des prolongements de chaque cellule à mesure que ceux-ci se forment, c'est-à-dire à mesure que la cellule s'enfonce. Plus tard, ces prolongements s'atrophient ou se résorbent à mesure que s'éteint la vitalité de la cellule.

lagineuse formant les travées de séparation se résorbe et est remplacée par de l'os dans une direction longitudinale qui est maintenue, sinon déterminée, par ces mêmes travées dites directrices.

Ainsi, les cartilages épiphysaires s'accroissant dans tous les sens, enfoncent par les deux extrémités du corps de l'os, dans la diaphyse, deux cônes ossifiés qui vont à la rencontre l'un de l'autre, comme deux coins, vers le milieu de la diaphyse où ils se rencontrent en effet. C'est donc à mesure qu'on examine des parties de plus en plus profondes de ces cônes qu'on trouve les pointes les plus anciennement formées de cet os émané du cartilage ou *os cartilagineux*, comme on l'appelle ; c'est dans ces parties, en effet, et non près de la ligne d'ossification, qu'on rencontre d'abord, et en plus grande quantité, des corpuscules osseux pris dans des couches de dépôt de plus en plus nombreuses autour d'une même cavité médullaire, et qu'on trouve les travées directrices, c'est-à-dire la substance fondamentale du cartilage, de moins en moins abondantes.

Mais comment disparaît ce cartilage que l'os remplace ? comment s'opère maintenant la nutrition de ce jeune os, dont la substance n'est plus perméable comme celle du cartilage, lequel, avons-nous dit ailleurs, se nourrit le plus souvent par imbibition des matériaux de la lymphe ? C'est que d'autres phénomènes se sont produits en même temps. Pendant que les séries cellulaires s'enfonçaient dans le corps de l'os, le périoste qui enveloppe intimement ce corps, a travaillé de son côté. Le feuillet interne, richement vascularisé, de cette membrane, a envoyé dans l'os de nombreux bourgeons vasculaires lesquels, pénétrant dans l'os cartilagineux et se propageant dans le sens général de la longueur de l'os, ont été à la rencontre des séries cellulaires du cartilage. Ils ont pénétré dans les cavités médullaires, refoulant contre la paroi les cellules qu'ils y ont trouvées ; ils ont été décrire des anses autour de la concavité de ces parois, parfois même ils se sont dilatés en ampoules qui remplissent presque les espaces médullaires, et le long de ces anses, au pourtour de ces ampoules, le cartilage a été dissous absorbé par ces mêmes vaisseaux, pendant que la substance

osseuse se déposait à sa place, sans doute par suite d'une sécrétion des cellules refoulées contre les parois et y figurant comme un épithélium. Ainsi s'opère en même temps la nutrition de l'os; et peut-être les matériaux du cartilage dissous, repris par les vaisseaux, ont-ils été fournis par eux aux cellules, ostéoblastes, pour qu'elles les élaborent d'une autre manière et en fassent de la matière osseuse.

Et ce sont bien les vaisseaux qui ont déterminé la résorption du cartilage, ce ne sont pas les ostéoblastes qui l'ont rongé, comme l'a dit Lovén, car là où les vaisseaux ont suivi une autre marche que celles des travées directrices, ils ont déterminé devant eux, en poussant leurs bourgeons, la résorption du cartilage et ont produit des canaux de Havers obliques. Parfois même, ils ont pénétré dans le cartilage non encore incrusté de matière osseuse, là où ces cellules soi-disant rongeantes n'existent pas, et là encore, ils ont détruit le cartilage devant eux.

Mais si la masse fondamentale du cartilage est ainsi absorbée, que deviennent les cellules. Ce sont elles, sans doute, qui deviennent les cellules médullaires dont quelques-unes sont emprisonnées dans la masse osseuse; c'était l'opinion de H. Muller et c'est, à notre avis, l'hypothèse la plus probable. Quant aux ostéoblastes, sont-elles aussi des cellules médullaires, c'est-à-dire des cellules appartenant primitivement au cartilage, de ces cellules qui, redevenues embryonnaires, c'est-à-dire indifférentes, en franchissant la ligne d'ossification, se sont développées en cellules formatives de l'os, tandis que leurs sœurs, devenues cellules médullaires, n'ont acquis que des propriétés assez effacées dont la plus saillante nous paraît être celle de se gorger de graisse en vieillissant? — Ceci est une question non encore résolue.

Ajoutons que, pour Lovén, Stieda et plusieurs autres histologistes, les cellules de la moelle, cellules médullaires et ostéoblastes, qu'elles soient identiques ou non, que leur dissemblance résulte ou non d'autre chose que de la pression de ces éléments les uns contre les autres, ne proviennent pas des cellules cartilagineuses entraînées et libérées par l'ouverture

des capsules. Elles proviendraient du périoste et seraient par conséquent des cellules conjonctives entraînées avec eux par les vaisseaux émanés de cette membrane. Suivant Lovén, nous l'avons dit, ce seraient elles qui rongeraient le cartilage.

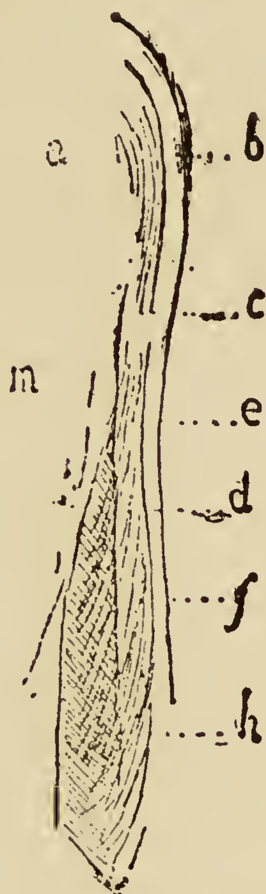


Fig. 61. — Encoche d'ossification.

a, cartilage épiphysaire ; *b*, périchondre se continuant avec le feuillet externe du périoste, *d*; *e*. encoche d'ossification; *c*, feuillet interne du périoste émettant les fibres arciformes; *f*, *h*, os périostique; *m*, os médullaire.

Cette dernière supposition, nous le répétons, ne nous paraît pas admissible.

Il est certain que les cellules du cartilage restent à l'état de cellules médullaires (Ranvier). Quant à celles qui s'appliquent à la surface des cavités, comme un épithélium cylindrique, celles que Gegenbaur a appelées ostéoblastes, auxquelles il attribue particulièrement la propriété de secréter la substance osseuse, opinion que nous partageons (1), leur origine est moins bien établie et rien ne prouve, en effet, qu'elles n'ont pas été entraînées par les vaisseaux venus du périoste. Elles seraient donc d'origine conjonctive et non cartilagineuse (?).

Pendant que l'os se développe ainsi en longueur et dans son axe sous forme de deux cônes qui vont au-devant l'un de l'autre en partant de chacune des épiphyses supérieure et inférieure, un autre travail d'ossification s'est fait dans le sens de la largeur au moyen du périchondre qui est devenu périoste.

(1) Il y a cependant un fait qui prouverait que le rôle formateur de la substance osseuse n'est pas aussi nettement déterminé chez les ostéoblastes que nous le pensons avec Gegenbaur. C'est que, dans l'ostéite, les travées qui vont disparaître sont tapissées de cette espèce d'épithélium d'ostéoblastes, aussi bien que celles qui sont en voie de formation. Ce fait ne nous paraît pas incompatible avec l'hypothèse de Gegenbaur, mais nous ne pouvons entrer ici dans les détails de cette discussion.

Sur des coupes longitudinales de l'os en voie de formation, on reconnaît, à la partie inférieure de l'épiphyse, une région que dès à présent nous désignerons sous le nom d'*encoche d'ossification*, où le périchondre qui, de là, va s'étendre sur le corps de l'os pour y devenir le périoste, reçoit, du cartilage épiphysaire sous jacent, des fibres longitudinales, de nature conjonctive (*c*, Fig. 61). Ces fibres se rendent dans le feuillet profond du périoste *e* qui, par sa couche superficielle *d*, se confond avec le périchondre. Chemin faisant, elles s'infléchissent du côté de l'os et s'y plongent. Ce sont les *fibres arciformes*. En pénétrant ainsi dans la diaphyse, qui n'est encore que du cartilage calcifié, elles entraînent avec elles les cellules conjonctives dont elles sont garnies, en même temps que de nombreux vaisseaux, car le feuillet profond du périoste est, nous le savons, très-richement vascularisé. Ce sont ces mêmes vaisseaux que nous avons vu pénétrer dans les espaces médullaires de l'os formé par le cartilage de l'épiphyse, détruire les parois capsulaires des cellules pour creuser ces espaces et résorber la substance cartilagineuse. Dans leur trajet à travers cette partie de la diaphyse, ils jouent le même rôle, se creusent un passage le long des fibres arciformes qui s'incrustent de matière calcaire et deviennent les fibres de Sharpey. Les fibres de Sharpey jouent donc ici le rôle de travées directrices et, à leur surface se dépose de la matière osseuse laquelle emprisonne dans ses couches, sous forme de corpuscules osseux, certaines des cellules d'origine conjonctive venues du périoste. Il se produit ainsi sous le périoste, une série de couches concentriques composées de sortes d'aiguilles osseuses, entremêlées, englobant des corpuscules, et qui constituent les lamelles externes. A mesure que ce travail pénètre dans l'intérieur de la diaphyse, l'os périostique forme à l'os cartilagineux comme un manchon cylindrique plus épais, à l'intérieur, dans la partie moyenne que sur ses bords. Il comble donc l'espace laissé par l'os médullaire ou cartilagineux qui, nous l'avons vu, est étranglé au milieu de la diaphyse, point de rencontre des deux cônes formateurs. En pénétrant ainsi dans l'épaisseur, l'os périostique, dont la croissance produit l'accroissement de l'os en

largeur, rencontre bientôt dans la partie centrale l'os cartilagineux et ses systèmes de Havers à lamelles circulaires concentriques. Les fibres de Sharpey pénètrent entre ces systèmes, sans les traverser et vont déterminer, dans les interstices laissés entre eux, un travail d'ossification dont les couches seraient parallèles à la première lamelle externe si leur direction n'était dérangée précisément par les systèmes de Havers. C'est ainsi que se forment ces systèmes intermédiaires composés de lamelles à grands arcs, comme les lamelles externes, systèmes qui comblent les interstices en se dérangeant suivant l'inflexion que doivent prendre leurs fibres de Sharpey directrices pour s'insinuer entre les systèmes de Havers. D'ailleurs, en examinant une coupe transversale d'os non décalcifié, sous un faible grossissement, et en étudiant la direction des lamelles externes et intermédiaires, on reconnaît facilement que ces dernières, bien que leur orientation soit maintenant dérangée, ont dû, à un certain moment, se trouver sous le périoste.

Ainsi, sous le périoste, où l'on voit une couche serrée de cellules se produisant dans la direction des fibres de Sharpey, les premières travées osseuses se fondent dans un système d'aréoles formées par l'os embryonnaire et revêtues de cellules (ostéoblastes). Ces travées, dont la coupe transversale se présente sous l'aspect d'aiguilles enchevêtrées, sont destinées à former les systèmes intermédiaires. Emanés du périoste, ces systèmes contiennent des fibres de Sharpey. Intérieurement sont les systèmes de Havers dont les cavités, d'abord larges, ont été peu à peu comblées par la matière osseuse de manière à ne plus offrir à leur centre qu'un canal vasculaire, canal de Havers. Ils proviennent du travail de l'os cartilagineux. On comprend donc qu'ils ne renferment pas de fibres de Sharpey.

L'os se forme donc et s'accroît en longueur par le cartilage, en largeur par le périoste, sans toutefois changer de forme, parce que les accroissements sont proportionnels. Jeune, l'os est creusé de nombreuses cavités médullaires qui lui donnent un aspect spongieux et, à son centre, d'un vaste espace anfractueux rempli par la moelle, limité encore par les travées cartilagineuses. Mais nous avons vu comment les espaces médul-

laires se comblent avec l'âge, pour ne plus contenir qu'un canal vasculaire, et les travées cartilagineuses se résorbent jusque sous le périoste; si bien que chez l'adulte, on ne trouve plus qu'un canal médullaire unique et central, tandis que les travées cartilagineuses n'ont laissé de trace qu'au voisinage des épiphyses, où, en revanche, on ne trouve à aucune époque de fibres de Sharpey.

D'ailleurs, il est évident qu'il se produit, au centre de l'os, un travail de résorption dont le résultat est que l'os achevé résulte à peu près en entier de la formation sous-périostique. En effet, le canal médullaire central de cet os est beaucoup plus grand que n'était l'os tout entier de la période fœtale ou des premières années de la vie. Le tissu osseux primitif a donc disparu et celui qui constitue l'os adulte est entièrement formé par les lamelles sous-périostiques qui arrivent à la région centrale composer les lamelles internes ou périmédullaires, lesquelles sont les plus anciennes. Quant aux cellules osseuses qui sont ainsi libérées en arrivant dans le canal médulaire, il est probable que, repassant à l'état embryonnaire, elles deviennent cellules médullaires de la moelle centrale.

Tel est le mode de développement d'un os long. Quant aux os courts qui ne proviennent que d'un seul point d'ossification central, nous avons peu de choses à ajouter pour expliquer comment le processus formateur est idendique : Calcification du cartilage au point d'ossification, sériation des cellules rayonnant autour de ce point, ou seulement en deux sens opposés suivant l'axe longitudinal de l'os embryonnaire, et formation d'un os cartilagineux s'avançant de chaque côté du point d'ossification et suivant le même axe. Puis développement d'os périchondral, ou périostique, en manchon autour de l'os cartilagineux. En raison de la position du point d'ossification, il ne se forme pas de canal médullaire central.

Des considérations précédentes, il résulte que le périoste a la propriété de former de la substance osseuse par son feuillet profond, riche en ostéoblastes et même composé presque uniquement, dans les os embryonnaires, d'une couche d'ostéoblastes. Cette propriété, le périoste la conserve, pour ainsi dire, indé-

finiment, et les expériences d'Ollier ont prouvé qu'en réséquant, sur l'adulte, un os entier, celui-ci ne tarde pas à être régénéré si l'on a conservé la couche profonde du périoste.

Examinons maintenant le développement des os qui, comme ceux de la voûte crânienne, ne succèdent pas à un cartilage mais à une membrane fibreuse. Le processus est en tout comparable à celui que nous venons d'expliquer pour la formation de l'os par le périoste, car, ici, le cartilage manquant, c'est la membrane fibreuse qui devient *membrane d'ossification*. A la surface externe, on voit le périoste envoyer des fibres conjonctives plongeant dans la partie qui sera le jeune os, comme les fibres arciformes, y constituant des réseaux, dont les mailles contiennent des cellules embryonnaires qui forment une couche d'ostéoblastes à la surface des fibres. Bientôt, celles-ci se recouvrent en certains points de substance osseuse, comme les travées directrices. Des ostéoblastes sont englobés dans les couches osseuses qui se déposent sur les parois des espaces médullaires creusés par les vaisseaux, couches qui prennent une structure lamelleuse et composent des systèmes comparables à ceux que nous avons reconnus dans les os longs.

On comprend que ces os contiennent une grande quantité de fibres de Sharpey ; tels sont le frontal, le pariétal, la partie écailleuse du temporal. Tels sont encore les tendons ossifiés de la patte des oiseaux, qui sont uniquement composés de fibres tendineuses calcifiées, c'est-à-dire de fibres de Sharpey, parallèles et comprenant entre elles des canaux vasculaires, canaux de Havers, avec des corpuscules osseux provenant évidemment des cellules connectives dont étaient recouvertes ces fibres avant la calcification ossiforme du tendon.

V

COMPOSITION CHIMIQUE DU TISSU OSSEUX

Les os sont, comme nous le savons, composés d'une matière organique azotée, intimement unie à des substances minérales. Le mode d'union de ces deux espèces de matières est même fort

peu connu; toujours est-il que si l'on dissout les sels minéraux en faisant macérer l'os dans l'acide chlorhydrique, on obtient un corps mou, composé uniquement de la substance organique, mais qui conserve exactement la forme et la structure de l'os primitif. Inversement, si l'on calcine l'os au contact de l'air, la matière animale est brûlée et il reste un os complétement calcaire qui conserve, lui aussi, sa forme et sa structure. Sur l'os calciné, comme sur l'os décalcifié, on peut faire des préparations microscopiques sur lesquelles on retrouve les détails connus de la constitution du tissu osseux.

Les sels minéraux qui entrent dans la composition de ce tissu sont d'abord le phosphate de chaux tribasique, puis le carbonate de chaux, avec un peu de fluorure de calcium. Ce dernier se trouve en quantité notable dans les os fossiles (jusqu'à 16 pour 100, Lehmann).

D'ailleurs, la proportion de ces divers sels varie avec l'âge des os, leur nature, leur état compact ou spongieux. Les os frais contiennent de 3 à 30 pour 100 d'eau (Stark), selon qu'ils sont vieux ou jeunes, compacts ou spongieux. On y a trouvé aussi des sels de magnésie, de fer, de manganèse, même de la silice et des phosphates, sulfates et chlorures alcalins.

En somme, d'après Bibra, le maximum de sels serait de 69 pour 100 (fémur adulte) et le minimum 51 pour 100 (sternum adulte), cette proportion augmenterait avec l'âge (1), ce que, d'ailleurs, conteste Recklinghausen.

Quant à la matière animale, à laquelle le tissu osseux doit une élasticité qui lui permet de résister aux violences extérieures, élasticité qui diminue cependant avec l'âge, elle donne, par l'ébullition dans l'eau, de la gélatine, type des substances

(1) Voici la composition de 100 parties de sels résultant du tissu compacte de deux fémurs de femme :

Phosphate de chaux	85,62	. . . 85,83
Carbonate de chaux	9,06	. . . 9,19
Fluorure de calcium	3,57	. . . 3,24
Phosphate de magnésie . . .	1,75	. . . 1,74
	100,00	100,C0

colloïdes, c'est-à-dire de la colle. Cette gélatine est mêlée d'une quantité plus ou moins grande de chondrine suivant que l'os contient encore plus ou moins de cartilages.

PRÉPARATION

Les préparations sur le tissu osseux se font tantôt sur des os secs, tantôt sur des os décalcifiés, suivant les observations que l'on veut faire.

Les coupes se font à la scie d'horloger sur des os secs, coupes d'un millimètre d'épaisseur, à peu près, que l'on use ensuite avec de l'eau sur une pierre-ponce taillée dans le sens des fibres, puis entre deux pierres-ponces bien planes. Quand la coupe est devenue transparente, on la polit sur une pierre du Levant avec de l'eau. S'il s'agit d'un os spongieux sur lequel on ne peut faire agir la scie, on commence par le plonger dans de la gomme épaisse qui en remplit les espaces, puis dans l'alcool, on fait alors la coupe, on l'use et on la polit sur la pierre avec de l'alcool. Quand la coupe est suffisamment mince, on la plonge dans l'eau pour la dégommer et on la sèche.

La préparation est ainsi pleine d'air, de sorte que si on la plonge dans du baume du Canada fondu, qu'on la recouvre et qu'on la fasse refroidir rapidement, les canalicules n'ont pas le temps de se remplir de baume et paraissent noirs au microscope, à cause de l'air qu'ils contiennent. Si, au contraire, on maintient le baume en fusion jusqu'à ce qu'il ait rempli les canalicules on obtiendra une préparation transparente, surtout si l'on a *pénétré* d'avance la coupe avec de l'essence de térébenthine ou du chloroforme.

On peut d'ailleurs monter les coupes à sec entre deux verres, mais une condition indispensable pour obtenir de bonnes préparations des os est d'opérer sur des os dégraissés. Pour cela, le meilleur procédé consiste à prendre des os tout frais, et à les faire macérer pendant un, deux ou trois mois dans l'eau. Au besoin, on chasse la moelle par un courant d'eau, ce qui est facile sur les os longs, en sciant les épiphyses et en adaptant un tube en caoutchouc sur l'extrémité de la diaphyse,

tube dans lequel on introduit, par l'autre bout, un entonnoir dans lequel on verse de l'eau.

Pour étudier les canaux de Havers, on peut colorer la coupe par la solution ammoniacale de carmin, en ayant soin de la polir ensuite avec de l'alcool sur une pierre du Levant, pour enlever les deux surfaces rougies et ne conserver que la tranche moyenne dans laquelle les parois des canaux sont seules colorées.

Pour suivre les anastomoses des canalicules, on colore les coupes en les chauffant jusqu'à dessiccation dans le bleu d'aniline soluble dans l'alcool, après avoir gratté avec un scalpel les deux surfaces pour enlever la poudre d'os qui bouche les canaux et canalicules. On lave ensuite dans l'eau salée à 2 pour 100 de chlorure de sodium pour fixer la couleur d'aniline, on polit sur la pierre avec la même solution et on monte dans la glycérine additionnée de partie égale d'eau salée.

Quant aux cellules osseuses qui occupent la cavité des *ostéoblastes* ou corpuscules osseux, il faut, pour les étudier, décalcifier les os dans l'acide chlorhydrique étendu de partie égale d'eau, dans l'acide chrômique à 3 pour 1000, ou mieux dans l'acide picrique saturé. Il faut réduire les os en fragments de 3 à 4 millimètres de côté pour obtenir une bonne décalcification avec ces deux derniers acides. L'os ramolli, on y pratique, au rasoir, des coupes qu'on lave et qu'on colore au picrocarminate ou à la purpurine. Sur les os en gros fragments, la décalcification n'atteint que la surface, mais on peut pratiquer des coupes sur ces surfaces au fur et à mesure que l'action se produit.

En employant l'acide chlorhydrique à 1 pour 100, on peut, sur les os du crâne particulièrement, dissocier les lamelles et isoler les fibres de Sharpey. Donders et Virchow ont employé le même procédé pour isoler les corpuscules osseux sous forme de corps étoilés.

Pour étudier le développement des os, on emploie des os d'embryon et des jeunes animaux que l'on décalcifie par l'acide chrômique, ou mieux, par l'acide picrique qui donne de meilleures préparations. On fait, au rasoir, des coupes que l'on colore, après les avoir lavées, avec le carmin, réactif spécifique

de la substance osseuse de nouvelle formation, tandis qu'il ne colore que peu ou point l'os ancien ni le cartilage. On peut aussi employer la purpurine dont nous avons parlé en traitant du cartilage et qui ne colore pas, au contraire, la substance osseuse.

Certaines autres matières colorantes agissent d'une manière particulière sur les éléments divers des os en voie de formation : Le bleu d'aniline alcoolique colore le cartilage en bleu et n'agit pas sur la matière osseuse; le bleu de quinoléine teint le cartilage en violet foncé et la substance osseuse en bleu clair.

Si l'os sur lequel on opère présente des différences de consistance dans ses différentes parties, différences qui rendent les coupes difficiles à faire, il faut après les avoir décalcifiées dans le bichrômate d'ammoniaque (8 jours), puis l'acide chrômique, les laver et les solidifier par la gomme et l'alcool. On peut alors faire des coupes minces que l'on colore après les avoir dégommées.

L'étude du trajet des vaisseaux exige que l'on emploie des préparations faites sur de jeunes animaux dont on a injecté tout le système vasculaire, par le bout central d'une carotide, avec une solution aqueuse, simple ou gélatinée, de bleu de Prusse. On enlève alors les os avec le périoste, on les place dans l'alcool et on les décalcifie dans l'acide picrique pour les colorer ensuite avec le picrocarminate, ou dans le bichrômate d'ammoniaque et l'acide chrômique pour les colorer à la purpurine.

On peut, d'ailleurs, faire des préparations avec deux matières colorantes, par exemple, la purpurine qui colore les cellules, puis, après lavage, le bleu de quinoléine qui teint le cartilage et ses travées en violet foncé, le tissu osseux en bleu clair.

Ce procédé sera employé avec avantage pour l'étude du développement de l'os périostique, décalcifié par le bichrômate et l'acide chrômique, puis solidifié, s'il en est besoin, par la gomme et l'alcool. Ranvier recommande pour cette étude le fémur de la grenouille qui est, pendant toute la vie de l'animal, en voie de croissance et ne se compose que d'un seul système de Havers.

Il est inutile d'ajouter qu'il faut, sur tous ces os, pratiquer des coupes longitudinales et transversales.

La formation des os aux dépens du tissu conjonctif, des os de la voûte crânienne, par exemple, peut être suivie par les mêmes procédés, décalcification et coloration à la purpurine.

Il est évident que si l'on veut se borner à étudier le périoste, les couches et les fibres qui le composent, les vaisseaux qui le parcourent, il suffira d'enlever un os avec le périoste, bien entendu, sur un petit animal dont on a injecté les vaisseaux, de le placer pendant 24 heures dans l'alcool, puis de le décalcifier dans l'acide picrique pour faire des coupes longitudinales et transversales que l'on colore dans le picrocarminate et monte dans la glycérine.

L'alcool au tiers servira à fixer dans leur forme et à dissocier les éléments de la moelle quand on voudra examiner les différentes cellules qui la composent. Il ne faut pas dans ce cas scier l'os pour en extraire la moelle qui se trouverait mêlée de sciure. On choisit un os long d'un petit animal et on le casse pour récolter au bout d'un scalpel, un peu de moelle qu'on traite par l'alcool au tiers, puis par le picrocarminate. — Pour reconnaître les mouvements amiboïdes des cellules médullaires-lymphatiques, on prendra de préférence la moelle du fémur de la grenouille et on en délayera une petite partie dans le sérum du sang du même animal.

CHAPITRE VII

TISSU MUSCULAIRE

I

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DU TISSU MUSCULAIRE

La propriété fondamentale du tissu musculaire est la contractilité.

Les Monères, les Amibes, les Rhizopodes et autres animaux inférieurs composés d'une seule cellule peuvent exercer des mouvements par la contraction de cette cellule. — Les Infusoires sont doués de la contractilité ciliaire et c'est, en effet, à l'aide des cils vibratiles dont leur corps est plus ou moins garni qu'ils se meuvent; chez les Annélides, les Mollusques, les mouvements se produisent par la contraction de cellules plus ou moins allongées et fibroïdes, présentant un noyau évident, des *fibres-cellules;* les Arthropodes se meuvent à l'aide de fibres très-allongées sur lesquelles on reconnaît la présence de stries transversales très-serrées, des *fibres striées.*

A mesure que l'on s'élève dans la série zoologique, on constate que chaque ordre est doué des éléments contractiles appartenant aux ordres qui lui sont inférieurs et d'un élément nouveau qui caractérise un progrès dans les modes de production et de manifestation de la contractilité (1). C'est dire que les Vertébrés sont doués de tous les éléments contractiles appartenant à tous les autres animaux.

Aux Vertébrés appartiennent la contractilité amiboïde dans les cellules lymphatiques, la contractilité ciliaire dans les épithéliums vibratiles; à eux encore appartient la contrac-

(1) Les Arthropodes, les Insectes en particulier, paraissent ne posséder que des fibres striées et pas de fibres lisses.

tilité des fibres-cellules et des fibres striées qui se réunissent pour former des masses synergiques plus ou moins considérables, désignées sous le nom de *muscles*, *muscles lisses* s'ils sont composés de fibres-cellules lisses, *muscles striés* s'ils sont, au contraire, constitués par des fibres striées.

On divisait naguère les muscles en deux classes : *muscles de la vie organique*, non soumis à la volonté, et ceux-ci étaient des muscles lisses, tels que ceux des parois de l'intestin dont les contractions (mouvements péristaltiques) se produisent sans la participation de la volonté ; *muscles de la vie animale*, muscles volontaires, et ceux-là étaient des muscles striés, tels que ceux des membres dont les mouvements sont essentiellement soumis à l'empire de la volonté.

Mais il a fallu faire une exception pour le muscle cardiaque dont les contractions sont dues à des fibres striées, d'une structure particulière, il est vrai, quoique involontaires.

Enfin, Ranvier a découvert chez les Vertébrés des muscles particuliers, qui, bien que volontaires, appartenant à la vie animale et composés de fibres striées, se contractent à peu près comme les muscles formés de fibres lisses. Quoiqu'il ait reconnu l'existence de ces muscles sur toutes les classes de Vertébrés, depuis les Poissons, où ils sont nombreux, jusqu'aux Mammifères, chez qui ils paraissent relativement rares, cet habile observateur les a particulièrement étudiés sur le lapin, chez qui ils ont une coloration rouge, qui tranche nettement sur celle, beaucoup plus pâle, des muscles striés ordinaires. C'est pourquoi il les désigne le plus souvent, et pour la commodité de l'exposition, nous suivrons cet exemple, sous le nom de *muscles rouges*, par opposition aux *muscles blancs*, qui sont (chez le lapin, du moins) les muscles ordinaires de la vie animale.

Si, sur un animal fraîchement sacrifié, un lapin, par exemple, on met à nu l'intestin, le cœur et les muscles de la cuisse, puis qu'on applique les deux rhéophores d'un appareil d'induction à courant faible et donnant une cinquantaine d'interruptions par seconde, sur ces différents muscles, on remarque que, si l'on agit sur la paroi musculaire de l'intestin,

celle-ci se contracte peu à peu, blanchit par l'expulsion du sang contenu dans les capillaires et forme comme une plaque dure qui, si l'on interrompt l'excitation électrique, retombe peu à peu à l'état de relâchement. On a affaire, dans ce cas, à des muscles lisses dont l'action est involontaire, car les mouvements péristaltiques de l'intestin continuent pendant un certain temps après la mort brusque de l'animal. Les mouvements du cœur sont de même nature, involontaires, et se continuent plus ou moins longtemps après qu'on a tué l'animal par la section du bulbe, si l'on prend soin d'entretenir la vie des éléments en pratiquant la respiration artificielle aussitôt qu'on a fait la section du bulbe. Si l'on applique les rhéophores sur le muscle cardiaque encore en pleine activité, on n'y excite que des contractions fibrillaires brusques, mais partielles; mais si le muscle a perdu la plus grande partie de son énergie, chaque application de l'électricité produit une contraction instantanée du cœur. Nous avons donc affaire à un muscle involontaire, strié et à contraction brusque.

Que si l'on applique le courant électrique sur un muscle pâle, le grand adducteur de la cuisse, par exemple, muscle qui, comme tous ceux des membres, est soumis à la volonté et composé de fibres striées, on constate de même une contraction brusque au moment de chaque excitation électrique, contraction qui cesse aussitôt que l'excitation cesse : il s'agit ici d'un muscle strié volontaire et à contraction brusque.

Enfin, si, après avoir incisé le muscle droit interne de la cuisse et le grand adducteur, on met à nu le demi-tendineux, muscle remarquable parmi ses voisins par sa coloration rouge, on l'excite à son tour avec le courant induit, on reconnaît qu'il se contracte lentement, quoique sensiblement plus vite que les muscles lisses de l'intestin, et que, l'excitation cessée, il retombe lentement à l'état de relâchement. Le demi-tendineux, en effet, est un muscle volontaire, strié, mais à contraction lente.

De cette étude il résulte que l'on peut diviser les muscles en quatre classes : 1° muscles volontaires à contraction brusque (muscles blancs du lapin), 2° muscles volontaires à con-

traction lente (muscles rouges du lapin) (1), 3° muscles involontaires à contraction brusque (muscle cardiaque), 4° muscles involontaires à contraction lente (muscle de l'intestin), de la tunique des vaisseaux, etc., etc.

Ranvier a proposé les noms de *muscles oxytoniques* pour les muscles à contraction brusque et de *muscles bradytoniques* pour ceux qui se contractent lentement.

Lorsqu'au lieu d'agir directement, par l'électricité, sur les fibres du muscle, on excite le nerf qui se distribue dans ce muscle, on obtient des effets semblables, mais la contractilité appartient en propre au tissu musculaire, et est indépendante de l'action du système nerveux, ainsi que l'ont démontré les expériences de Longet, Müller et Sticker, Cl. Bernard. Si l'on fait sur un animal la section du nerf sciatique, les muscles du membre abdominal correspondant sont encore excitables par l'électricité, alors même que le bout périphérique, séparé du centre, est en pleine dégénérescence, et que le bout central n'a pas encore envoyé vers lui les filets nerveux qui doivent en susciter la régénération. Cl. Bernard dans ses belles expériences sur l'action physiologique du curare a fait voir que ce poison, qui paralyse entièrement l'action des nerfs moteurs, ne détruit aucunement la contractilité des fibres musculaires.

Les muscles, en effet, offrent les terminaisons des nerfs moteurs, ils sont de plus parcourus par un riche réseau vasculaire. Nous remettrons cette partie de l'étude du *système* musculaire au moment où nous exposerons les systèmes vasculaires et nerveux pour ne nous occuper d'abord que du *tissu* musculaire proprement dit, de sa structure et de ses propriétés.

Dans cet examen, nous étudierons d'abord la fibre musculaire lisse, puis, parallèlement, les fibres striées à contraction brusque et à contraction lente, et enfin celles, toutes spéciales, qui composent le muscle cardiaque, ce qui nous conduira tout naturellement à l'histoire du système vasculaire.

(1). Ces muscles striés à contraction lente ne sont pas rouges chez tous les animaux; chez les poissons, par exemple, tous les muscles sont blancs. Nous ne les désignons ainsi que pour abréger.

II

FIBRES MUSCULAIRES LISSES

Les *fibres musculaires lisses* ou *fibres cellules contractiles* qui sont à proprement parler les fibres musculaires des animaux invertébrés (sauf les Arthropodes), sont très-répandues dans l'organisation des vertébrés, bien qu'en masses relativement très-faibles, si on les compare aux associations volumineuses de fibres striées qui constituent les muscles du tronc et des membres. Elles appartiennent toutes, nous l'avons dit, à la vie organique, involontaire, et ont la propriété de se contracter lentement, du moins sous l'influence de l'électricité, et de se décontracter pareillement avec lenteur.

Elles forment des couches ou des plans musculaires, les uns longitudinaux, les autres transversaux, dans la paroi du canal digestif depuis l'œsophage jusqu'à l'anus, des voies aériennes depuis et y compris la trachée jusque dans les ramifications bronchiques, dans la charpente de tous les organes qui composent l'appareil génito-urinaire de l'homme et de la femme. On les trouve, chez l'homme, particulièrement dans le dartos, entre les tuniques vaginale et propre du cordon spermatique, etc.; chez la femme, dans les parois de l'utérus hors de l'état de gestation, car dans l'utérus gravide il se développe un grand nombre de fibres striées en rapport avec les contractions brusques et violentes que cet organe aura à exercer pour l'expulsion du fœtus. Les fibres-cellules existent aussi dans les parois des vaisseaux, dans le tissu conjonctif sous-cutané, disposées par petits groupes au niveau des follicules pileux et sudoripares. Enfin, nous aurons à signaler, chemin faisant, leur existence dans un grand nombre d'organes où nous les trouverons toujours disposées en couches minces ou disséminées en petits faisceaux.

Les fibres musculaires lisses, dont Kölliker a le premier reconnu la nature cellulaire, sont des cellules ordinairement

allongées, quelquefois même excessivement longues, car si les plus petites ont de 25 à 30 μ, les plus longues peuvent atteindre 225 μ ; leur longueur moyenne est d'environ 50 μ. — Leur largeur varie entre 5 et 15 μ.

Elles sont, en général, pâles, homogènes, contenant quelquefois des granulations, le plus souvent d'apparence graisseuse, ou des granules excessivement fins. Elles sont pourvues d'un noyau allongé en bâtonnet ovalaire, suivant l'axe de la cellule, noyau vésiculeux, dans lequel on distingue difficilement le nucléole. Il paraît assez régulièrement placé au milieu de la longueur de la cellule, mais parfois on trouve deux et même trois noyaux dans la même cellule.



Fig. 62. — Fibre musculaire lisse (fœtus).

Les fibres-cellules se terminent par des extrémités plus ou moins effilées; et lorsqu'elles sont rassemblées pour composer un faisceau ou une couche musculaire, elles s'étagent ou s'engrènent les unes dans les autres, l'extrémité effilée de chacune

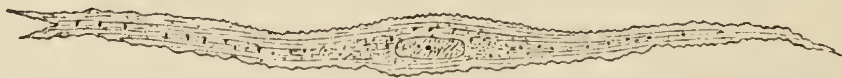


Fig. 63. — Fibre musculaire lisse (homme adulte).

venant se loger entre le corps renflé des cellules voisines, ainsi qu'il est facile de s'en assurer en imprégnant au nitrate d'argent des membranes minces contenant une ou plusieurs couches de fibres musculaires lisses, une anse intestinale d'un petit animal, la paroi d'une veine, par exemple. Le dépôt d'argent se fait alors, comme sur un endothélium, sur les lignes

intercellulaires et dessine le contour des cellules d'une manière très-nette (*fig.* 64).

On peut aussi obtenir de très-bonnes préparations qui ont l'avantage de mettre les noyaux en évidence, en employant des procédés analogues à ceux que nous avons décrits pour l'étude des épithéliums, c'est-à-dire en remplissant une anse d'intestin



Fig. 64. — Paroi d'une artériole imprégnée par l'argent. Les lignes transversales à l'axe du vaisseau représentent les fibres-cellules de la couche musculaire.

prise entre deux ligatures, avec de l'alcool au tiers, ou en faisant macérer dans ce liquide une membrane musculaire, comme la vessie de lagrenouille, dont la paroi est très-mince; on étale la pièce sur une lame de verre et, après l'avoir brossée avec un pinceau pour enlever l'épithélium, on la colore avec le picro-carminate ou l'hématoxyline.

Des coupes transversales faites dans les tissus desséchés, ou durcis par la congélation, l'alcool, l'acide picrique et le bichrômate d'ammoniaque, la gomme et l'alcool, etc., puis colorés par le picro-carminate ou la purpurine, montreront aussi sous forme d'un dessin à mailles polyédriques, les surfaces de jonction des cellules, jonction formée à l'aide d'une substance cimentante moins réfringente que la matière des cellules elles-mêmes. Un grand nombre des polygones qui représentent la section des cellules montrent un noyau au centre, ou plutôt la coupe du noyau. Les cellules ou l'on ne remarque pas de noyau sont celles, qui en raison



Fig. 65. — Coupe transversale d'un faisceau musculaire lisse.

de leur disposition étagée ont été coupées au-dessus ou au-dessous du noyau (*fig.* 65). Sur des coupes transversales faites au milieu du noyau, on reconnaît avec de forts grossissements que le noyau semble occuper une sorte de loge placée au centre de la fibre et laisse à ses deux extrémités un espace dans lequel existent les granulations dont nous avons parlé antérieurement. On reconnaît de plus, que la fibre paraît constituée par des faisceaux de fibrilles longitudinales séparées par une substance cloisonnante, dont la coupe forme une figure rayonnante autour du noyau.

Les fibres lisses dérivent directement des cellules embryonnaires du feuillet blastodermique moyen ; elles se forment par allongement de ces cellules, et peut-être à l'aide d'une fibrillation qui se produit surtout à la partie périphérique et circonscrit dans une sorte de fossette centrale, autour du noyau, les restes du protoplasma.

Examinées sous la lumière polarisée, les fibres musculaires lisses se montrent douées de la double réfraction et, de plus, elles exercent une action rotatoire sur le plan de polarisation, qu'elles dévient notablement vers la droite.

III

FIBRES MUSCULAIRES STRIÉES

Muscles striés à contraction brusque. — Si l'on prend sur un muscle de la cuisse d'un lapin, le grand adducteur, par exemple, un petit fragment musculaire et qu'on le dissocie avec précaution dans une goutte de picrocarminate, on reconnaît que le muscle se laisse diviser en fibres dont la largeur varie de 10 à 80 μ, d'apparence cylindrique, et que l'on désigne sous le nom de *faisceaux primitifs*.

Ces faisceaux sont remarquables par une striation transversale très-marquée et par une striation longitudinale beaucoup moins nette, mais qui semble indiquer que le faisceau est formé par un grand nombre de fibrilles excessivement fines striées transversalement et soudées parallèlement les unes aux autres.

Il arrive souvent que, par un accident de préparation, un faisceau a été écrasé en un certain point ou tordu sur lui-même. Dans le premier cas, on voit que la substance musculaire étant rompue plus ou moins complétement, écartée, écrasée ou déplacée, le faisceau peut n'être pas brisé pour cela, la continuité est maintenue par une gaîne très-mince qui enveloppe le faisceau dans toute sa longueur. On ne peut l'apercevoir le long du faisceau à cause de sa finesse et de sa grande transparence, son indice de réfraction étant le même que celui de la substance musculaire.

Si le faisceau a été tordu sur lui-même, on voit très-nettement les plis formés par la torsion de la membrane. Cette fine enveloppe anhyste et transparente est le *sarcolemme*, qui a été découvert par Schwann et considéré par lui comme une membrane de cellule.



Fig. 66. — Fibres musculaires striées.

s, Sarcolemme ; *n*, noyaux.

Enfin, si le faisceau a été fortement coloré par le picro-carminate et surtout si la préparation est faite depuis plusieurs jours, on reconnaît, immédiatement appliqués sous le sarcolemme, des noyaux disséminés, de forme ovalaire allongée dans lesquels on distingue un ou plusieurs nucléoles ; ces noyaux sont logés dans une sorte de fossette étirée dans le sens de l'axe du noyau et du faisceau, fossette qui contient des granulations d'apparence protoplasmatique.

Ces noyaux, découverts aussi par Schwann, paraissent ovales lorsqu'on les voit de face à la surface du faisceau, mais sur les bords, où ils sont vus de profil, ils paraissent beaucoup moins épais, ce qui prouve qu'ils ont la forme d'un ellipsoïde aplati. Il est très-difficile de les apercevoir sur des muscles vivants et non colorés, parce que leur réfringence et leur couleur sont

les mêmes que celles de la substance musculaire placée au-dessous. On ne peut y arriver qu'avec d'excellents objectifs à immersion et à grande ouverture (n° 10, Hartnack et Prazmowski).

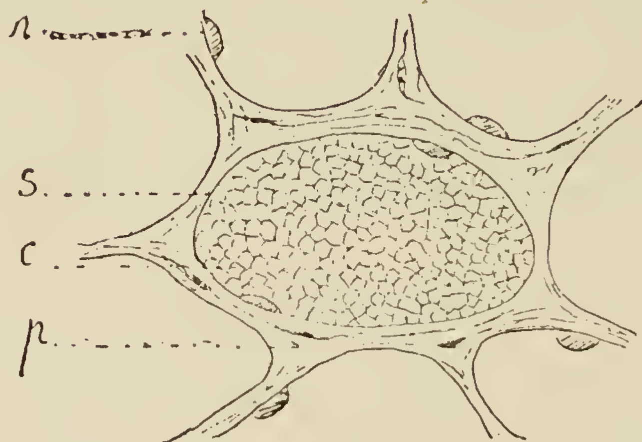


Fig. 67. — Coupe transversale d'un muscle de lapin.

s. Sarcolemme d'un faisceau primitif; *c*, montrant les champs de Cohnheim; *p*, tissu conjonctif périfasciculaire (myolemme) avec cellules plates conjonctives.

A l'aide de coupes transversales dans un muscle durci, desséché ou congelé, on reconnaît facilement que les noyaux, dans les muscles des Mammifères, sont placés immédiatement sous le sarcolemme, mais, si l'on opère sur un muscle de grenouille, on constate l'existence de noyaux non-seulement sous le sarcolemme, mais aussi dans l'intérieur du faisceau. Ces derniers présentent même des formes irrégulières, des crêtes d'empreinte dues à la pression qu'ils subissent de la part des éléments composants du faisceau entre lesquels ils sont placés (E. Weber) (1). Chez beaucoup d'insectes (Carabiques, Hydrophiles,) les noyaux sont rangés en files ou en chapelet dans l'intérieur de la fibre (muscles des pattes).

Si l'on a fait des coupes transversales sur des muscles dont les faisceaux sont bien régulièrement parallèles, et le couturier de la grenouille se prête bien à cette préparation, si l'on opère, d'ailleurs, dans certaines circonstances (injection interstitielle d'acide osmique, durcissement dans l'alcool, la gomme et l'alcool, etc.), on remarque que la coupe de chaque faisceau

(1) E. Weber, *Archives de physiologie*, 1874.

primitif présente sur sa surface une sorte de réticulation polygonale, formée par une matière moins réfringente que la substance musculaire ambiante.

Ces espaces polygonaux, décrits sous le nom de *champs de Cohnheim*, représentent la section de plus petits faisceaux de fibrilles, composant le faisceau primitif, et que Leydig a depuis longtemps décrits sur les muscles des Poissons, en les désignant sous le nom de *cylindres primitifs*. On peut, sinon isoler complétement, au moins dissocier en certains points ces cylindres primitifs, en traitant par l'acide acétique quelques faisceaux pris sur un muscle de la cuisse chez la grenouille, muscle fixé en extension par l'acide osmique et coloré par le picro-carminate. En exerçant des pressions en divers sens sur la préparation, le sarcolemme et la substance cimentante des cylindres primitifs ramollis, permettent à ceux-ci de s'écarter les uns des autres en certains points. On peut ainsi les reconnaître, voir, à leur striation longitudinale, qu'ils ne correspondent pas aux fibrilles, mais à des faisceaux de fibrilles, faisceaux dont la réunion, sous une même enveloppe sarcolemmique, forme le faisceau primitif, et dans les interstices desquels on constate l'existence de noyaux plus ou moins nombreux, plus ou moins aplatis ou déformés par la pression, et souvent de longues files de granulations graisseuses qui permettent même de reconnaître les lignes de séparation des cylindres primitifs.

La congélation, qui a été employée par Cohnheim pour observer les *champs* produits par la section du cylindre primitif (1865), a l'avantage, quand on place les coupes dans le chlorure de sodium ou dans l'alun à 1 pour 200, de donner naissance à un gonflement de la substance musculaire qui s'échappe du sarcolemme ou le déborde sous forme de bourrelet ou de champignon. Au centre de ce champignon, les cylindres primitifs sont desserrés par l'expansion au dehors des cylindres périphériques, ce qui permet d'observer les champs de Cohnheim avec une grande netteté dans cette partie centrale. Sur les bords, on distingue, à la limite, le sarcolemme dont la ligne paraît régulièrement festonnée, et, en examinant la relation de ces festons avec les champs de Cohnheim marginaux, on

voit que les cylindres primitifs ont une section circulaire et sont cylindriques. Ce n'est donc que par pression réciproque qu'ils sont polygonaux au centre (1).

Nous avons ainsi des notions précises sur le diamètre et la structure des faisceaux primitifs, mais il est moins aisé d'apprécier d'une manière certaine leur longueur. Quelques histologistes pensent, que dans un muscle, les faisceaux s'étendent d'un bout à l'autre du muscle entre les deux insertions. Cependant, il est évident que l'on voit souvent certains faisceaux finir par une pointe mousse s'engageant entre les faisceaux voisins ou quelquefois par une extrémité déchiquetée, comme si les différents cylindres primitifs composant un même faisceau ne se terminaient pas au même niveau. Rollett a avancé que ces faisceaux se prolongent par une fibre conjonctive, soit par une, soit par les deux extrémités, jusqu'aux insertions du muscle, fibre qui jouerait ainsi le rôle d'un petit tendon. La plupart des histologistes pensent aujourd'hui que les faisceaux musculaires ne sont pas très-longs, 0m04 d'après Krause. Cependant, il est facile de reconnaître que, chez la grenouille, le plus grand nombre des fibres s'étendent d'un tendon à l'autre, même dans les muscles les plus longs.

Nous avons insisté sur la fine striation longitudinale des faisceaux primitifs, qui indique chez eux une constitution fibrillaire, mais nous devons ajouter que certains réactifs paraissent avoir la propriété de dissoudre ou de ramollir la substance qui

(1) Les cylindres primitifs se reconnaissent facilement sur les muscles des poissons, muscles de la ligne latérale des perche, tanche, carpe (Leydig), de la nageoire dorsale de l'hippocampe (Ranvier), etc. Ces muscles ont des faisceaux volumineux présentant une fine striation longitudinale, correspondant aux fibrilles, et une autre plus épaisse correspondant aux cylindres primitifs (Leydig). Sur les coupes transversales on voit, entre le sarcolemme et la substance contractile, une matière granuleuse contenant des noyaux et dans laquelle les cylindres primitifs font des saillies festonnées (*fig.* 68).



Fig. 68. — Coupe transversale d'un muscle de Tanche.

réunit ces fibrilles en cylindres primitifs et ces cylindres en faisceaux. Déjà, par de simples accidents de préparation, la rupture et la déchirure de ces faisceaux, on les voit souvent se terminer par une sorte de pinceau de fibrilles disjointes ou fournir sur leur longueur quelques fibrilles séparées par déchirement. Mais lorsqu'on a fait macérer un petit fragment de muscle dans l'alcool, surtout si l'on a pris la précaution de le fixer en extension sur un morceau de bois par une ligature à chacune de ses extrémités, on peut dissocier aisément les faisceaux en fibrilles, particulièrement les muscles des Poissons (raie).

L'alcool dilué, concentré ou absolu, les solutions chrômiques faibles (doses inférieures à 2 p. 1000 pour l'acide chrômique, à 2 p. 100 pour les bichrômates), l'acide picrique saturé et les solutions de divers sels agissent de même en accusant la striation longitudinale et facilitent la dissociation en fibrilles.

Mais nous avons dit aussi que les faisceaux sont marqués d'une striation transversale, bien plus accusée même que la striation longitudinale et à laquelle ces éléments musculaires doivent leur nom. Cette striation, bien facile à voir et remarquable surtout sur les faisceaux tendus, est plus accusée encore lorsqu'on soumet le muscle à l'action de certains réactifs qui ont, au contraire des précédents, la propriété de masquer la striation en fibrilles longitudinales pour déterminer une striation transversale bien plus nette; cette action peut même être telle qu'elle permet souvent de dissocier le faisceau, non plus en fibrilles, mais en disques transversaux superposés. C'est Bowman qui, profitant de quelques expériences anciennes et y ajoutant des recherches nouvelles, découvrit cette décomposition du faisceau en disques que l'on désigna dès lors sous le nom de *disques de Bowman.*



Fig. 69. — Décomposition discoïde d'un faisceau musculaire.

Les réactifs qui favorisent la décomposition discoïde sont

d'abord le suc gastrique, dont l'action est anciennement connue, les acides faibles, chlorhydrique à 1 p. 1000, acétique à 1 p. 100, les chlorures de calcium, de baryum, le carbonate de potasse, ainsi que beaucoup d'autres sels, et surtout la congélation. Sur un fragment de muscle congelé dans un mélange réfrigérant, on pratique des coupes minces longitudinales que l'on dissocie dans le picrocarminate pour les conserver dans l'eau phéniquée. Sur ces préparations, on voit la striation transversale très-accusée, les stries variant de 1 à 2 μ d'écartement; certains faisceaux recourbés se divisent, sur la courbe, en disques qui s'écartent les uns des autres comme les feuillets d'un livre. Enfin, certains fragments sont complétement dissociés et séparés en éléments discoïdes sur la tranche desquels on aperçoit des points allongés qui correspondent à la striation longitudinale.

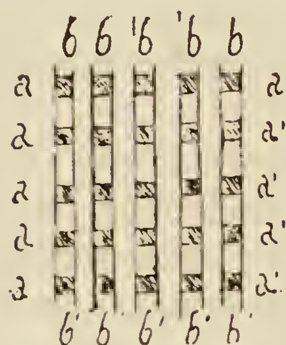


Fig. 70. — Schéma de la décomposition discoïde et fibrillaire d'un faisceau strié. *aa'* disques de Bowman; *bb'*, fibrilles longitudinales.

Ainsi donc, non-seulement un faisceau se compose de fibrilles unies parallèlement sur leur longueur, mais chaque fibrille peut être considérée comme composée d'une file d'éléments superposés auxquels on peut prêter une forme prismatique; dans un faisceau, les éléments de toutes les fibrilles juxtaposées se correspondraient sur des plans transversaux superposés, formant une série de couches empilées, et ce serait ces couches qui, en se séparant, composeraient les disques de Bowman, ainsi qu'il est facile de le comprendre par l'inspection d'un schéma (*fig.* 70) dans lequel *bb'* représente une fibrille, *aa'* représente un disque. La rupture du faisceau donnerait : entre deux lignes *bb'*, une division longitudinale, une fibrille ou un groupe de fibrilles; entre deux lignes *aa'*, une division transversale en disques ou en une petite pile de plusieurs disques. Ces petits prismes composant dans un sens les fibrilles, dans l'autre les disques, derniers éléments constituants du faisceau strié, sont les *sarcous elements* de Bowman.

Pour l'histologiste anglais, les *sarcous elements* étaient les organes de la contraction, dans la fibre musculaire ; la substance intermédiaire n'était qu'un ciment, plus abondant entre les couches transversales d'éléments qu'entre les files longitudinales. Ainsi s'expliquait ce fait que les stries transversales sont beaucoup plus marquées que les stries longitudinales et que la division est beaucoup plus facile suivant les fibrilles que suivant les disques, puisqu'il y a plus de ciment entre ces derniers qu'entre les fibrilles.

Cette ingénieuse théorie, qui a presqu'exclusivement régné pendant longtemps, diffère assez peu de celles qui, fondées sur des observations plus fines encore, sont aujourd'hui discutées par les histologistes. Elle fut d'ailleurs confirmée, au moins dans sa partie fondamentale, par cette observation de Brücke que les zônes correspondant aux éléments de Bowman sont doués de la double réfraction tandis que la substance intermédiaire est monoréfringente, observation confirmée elle-même par l'action différente des réactifs colorants sur ces deux substances distinctes de la fibre musculaire.

Cependant, le perfectionnement des instruments d'optique permit bientôt d'observer des détails particuliers de structure qui avaient échappé à Bowman.

Lealand, en Angleterre (1), puis Amici, en Italie, firent de nouvelles observations. Amici, notamment, constata en 1858 (2), sur les fibres musculaires des pattes de la mouche, que le faisceau est composé de deux sortes de disques séparés par une substance cimentante : un disque très-mince ayant l'aspect d'une série transversale de grains, puis un espace clair qui le sépare d'un second disque beaucoup plus épais paraissant composé d'une série de bâtonnets ou de prismes rangés à côté les uns des autres, ressemblant par conséquent au disque de Bowman, puis une nouvelle bande claire et un nouveau disque mince en chapelet de grains et ainsi de suite.

Le sarcolemme lui parut adhérer à la substance musculaire au

(1) Quekett, *Treatise on the microscope.*

(2) Journal le *Tempo*, Florence, 1858.

niveau du disque mince, car le faisceau se resserre à cet endroit pour se gonfler au niveau du disque épais et prend un peu l'aspect moniliforme.

Cette observation est parfaitement exacte, et il est aujourd'hui facile de la reproduire, particulièrement sur les fibres musculaires des insectes, en les maintenant en extension modérée, car si la fibre est relâchée et revenue sur elle-même, tous les éléments se raccourcissent, la strie très-fine signalée par Amici et que nous avons appelée *disque mince* disparaît dans les deux bandes claires entre lesquelles elle est placée, et l'on n'aperçoit plus que les *disques épais* séparés par des *espaces clairs*, tels que les avait vus Bowman.

Certains insectes se prêtent admirablement à cette étude, l'hydrophile (*Hydrophilus piceus*), les dytisques (*Dytiscus marginalis* et autres), le hanneton (*Melolontha vulg.*), les cétoines (*Cetonia aurata* et autres), les carabes, etc.

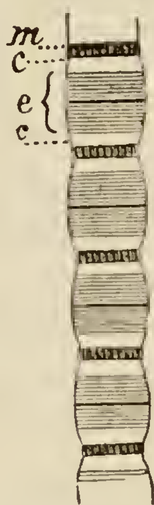


Fig. 71. — Fibre musculaire des ailes de l'Hydrophile (schéma).
m, disque mince ; *e*, disque épais avec la strie de Hensen (2) ; *c*, *c*, espaces clairs.

C'est surtout sur l'hydrophile, gros insecte aquatique, facile à trouver en toute saison, que les expériences ont porté. On sépare du lacis de trachées qui les entoure quelques faisceaux musculaires jaunâtres pris sous la carapace du thorax (1), on les dissocie dans une goutte de picrocarminate et l'on observe qu'ils se résolvent immédiatement en petites fibres de 1 à 3 μ de largeur, sans qu'il y ait apparence de sarcolemme. Ces fibres, qu'on a longtemps considérées comme des fibrilles élémentaires, sont des cylindres primitifs.

(1) Les insectes ont deux espèces de muscles, ceux du thorax, qu'on appelle muscles des ailes parce qu'on opère le plus souvent sur ceux qui meuvent l'aile, et ceux des membres que l'on prend ordinairement dans les pattes. Ces derniers ont un sarcolemme et ressemblent beaucoup aux muscles des vertébrés. Chez les arthropodes, nous l'avons dit, il n'y a que des muscles striés, même dans les parois de l'intestin.

(2) Cette strie intermédiaire de Hensen qui, dans la position où nous supposons l'objectif, doit paraître plus claire que le disque épais au milieu duquel elle est située, a été figurée à tort plus foncée par le graveur.

Sur les fibres ainsi préparées, et surtout sur celles qui se trouvent tendues, on observe une striation très-nette formée par une succession de bandes claires et de bandes colorées ; mais, au milieu de la bande claire, on constate la présence d'une strie colorée aussi, qui est la strie d'Amici ou le disque mince, c'est-à-dire qu'on a un *disque mince*, une *bande claire*, un *disque épais*, une bande claire, un disque mince et ainsi de suite.

Si au lieu de picrocarminate dont l'action colorante est faible sur les éléments musculaires, on emploie l'hématoxyline qui les teint très-fortement en bleu, on peut voir, au milieu du disque épais, une strie difficile à reconnaître, d'ailleurs, si la fibre n'est pas bien tendue, et qui, observée pour la première fois par Hensen (1868), porte le nom de *strie de Hensen* ou *strie intermédiaire*. Cette strie est peu ou point colorée par l'hématoxyline, comme les bandes claires, tandis que le disque mince forme une ligne violette et le disque épais une masse plus foncée encore.

De cette action des matières colorantes, il résulte que la substance qui compose les bandes claires et sans doute la strie intermédiaire n'est point la même que celle des disques, que parmi ceux-ci, le disque épais est composé d'une substance analogue, mais peut-être pas identique tout à fait à celle du disque mince, car celui-ci se colore moins par l'hématoxyline comme par le picrocarminate.

L'étude du faisceau musculaire à la lumière polarisée confirme cette analyse faite par les matières colorantes. En effet, lorsque les Nicols sont croisés et que l'axe des faisceaux est convenablement orienté, on voit que ceux-ci restent lumineux sur le fond noir; mais, avec un fort grossissement, on reconnaît que ce sont seulement les disques épais et les disques minces, et surtout les premiers, qui sont éclairés, tandis que les espaces clairs et la strie de Hensen sont obscurs. Ces espaces et cette strie sont donc monoréfringents (Brücke, Hensen), tandis que les disques épais et les disques minces sont biréfringents, mais les disques minces moins que les disques épais.

L'étude des fibres musculaires à la lumière polarisée a conduit encore Brücke à d'autres observations ; c'est ainsi qu'il

reconnut (1858) que, dans certains cas, le disque épais n'est pas homogène mais paraît se composer de trois bandes, une centrale et deux extrêmes, que l'on a désignées depuis sous le nom de *disques accessoires* (Merkel, 1872).

Ces disques accessoires se voient surtout, non plus sur les fibres musculaires des ailes de l'hydrophile, mais sur celles des pattes fortement tendues. Ces faisceaux sont, d'ailleurs, constitués comme ceux des vertébrés ; ils ne paraissent plus être des cylindres primitifs, car ils ont un sarcolemme, des noyaux, une fine striation longitudinale, une striation transversale aussi nette que celle des muscles des ailes. Mais les disques minces y apparaissent comme une série de grains, et les disques épais, comme une rangée de bâtonnets ou de prismes, indices de la composition fibrillaire du faisceau ; c'est donc de tous points l'observation d'Amici sur les muscles des pattes de la mouche. (Toutes choses égales, d'ailleurs, les disques épais sont un peu plus hauts que dans les fibres de l'aile.)

Les disques accessoires paraissent être souvent beaucoup plus nombreux, ainsi qu'on peut le constater en examinant les muscles des Myriapodes, et surtout, d'après Ranvier, les fibres musculaires de la paroi du jabot d'un Orthoptère très-commun, la blatte orientale (*B. orientalis*), dans lesquelles le disque épais se subdivise en cinq disques accessoires dont les deux extrêmes plus colorés, plus réfringents, et aussi plus biréfringents que les disques intermédiaires qui le sont davantage que le disque médian. Celui-ci semblerait correspondre à la strie de Hensen (1). Du reste, il est possible que le nombre des disques accessoires soit variable. Brücke a avancé que leur formation dépend des conditions dans lesquelles l'animal sur lequel on opère a été tué.

En résumé, la fibre musculaire est composée d'une série de disques auxquels nous conserverons, avec Ranvier, les noms de disques minces et de disques épais, séparés les uns des autres par des espaces clairs. Au milieu du disque épais,

(1) Hensen a, en effet, considéré cette strie claire comme un disque, une cloison qui diviserait en deux parties le disque épais, comme la bande claire sépare le disque épais du disque mince (?).

on peut observer une strie intermédiaire claire, ou strie de Hensen. Il est bien évident, d'ailleurs, que ces désignations ne s'appliquent qu'à une position donnée de l'objectif, celle dans laquelle on a mis au point exactement pour la surface du faisceau, car si l'on rapproche l'objectif, les effets changent quant à la distribution de la lumière, les parties claires deviennent obscures, les parties obscures deviennent lumineuses. Enfin, pour observer tous ces détails, il faut opérer sur des faisceaux tendus, car sur des faisceaux revenus sur eux-mêmes on ne voit, le plus souvent, que les bandes claires, confondues par l'absorption du disque mince, et les disques épais.

Muscles striés à contraction lente. — Les muscles striés à contraction lente, muscles rouges chez le lapin domestique, présentent une structure à très-peu de choses près semblables à celle des muscles à contraction brusque. La striation y paraît seulement un peu moins régulière et les disques minces un peu plus épais, tandis que les bandes claires y sont, en compensation, un peu plus larges. Les noyaux sont plus abondants sous le sarcolemme, plus globuleux et souvent disposés en séries linéaires.

Il est remarquable que des muscles rouges et des muscles blancs concourent à l'exécution des mêmes mouvements : ainsi, sur la jambe, les jumeaux sont blancs et le soléaire rouge, agissant tous sur le tendon d'Achille ; dans la cuisse, les muscles droits interne et externe sont blancs, le crural proprement dit rouge, tous agissant sur le ligament rotulien.

On trouve les muscles à contraction lente, nous l'avons dit, chez beaucoup d'autres animaux, bien que leur coloration ne soit pas toujours plus intense que celle des muscles à contraction brusque.

La langue de la grenouille et probablement des autres batraciens paraît se contracter comme les muscles rouges du lapin. Chez les poissons, on trouve de nombreux muscles de cette nature, et chez l'hippocampe, par exemple, dont les mouvements sont très-lents, tandis que les nageoires vibrent avec une extrême vitesse, les muscles du corps sont à contraction lente, tandis que ceux des nageoires sont à contraction brusque.

IV

DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Si l'on prend sur un animal vivant, un insecte par exemple, quelques faisceaux musculaires et qu'on les examine dans le plasma de l'animal lui-même, ou mieux dans l'albumine du blanc d'œuf (Merkel), on voit bientôt se propager, le long des fibres relâchées, des nœufs ou *ondes de contraction* dues à ce que les fibres se contractent partiellement en un point et que la contraction se produit de proche en proche en formant un renflement qui se propage le long de la fibre dans un temps à peu près égal. Si l'on attend que la vitalité soit affaiblie ou qu'on comprime la préparation pour gêner la formation des ondes, elles se ralentissent, deviennent comme vermiculaires et l'on peut étudier leur structure. Un autre moyen consiste à ouvrir la carapace de la patte d'un hydrophile et à faire couler dans la blessure de l'alcool absolu ou concentré qui, irritant les muscles, y détermine des ondes, lesquelles sont, presque aussitôt que produites, fixées dans leur forme.

On constate alors, en enlevant les faisceaux pour les examiner, qu'il y a des ondes *totales*, c'est-à-dire qui se forment dans toute l'épaisseur d'une fibre, et des ondes *latérales* qui ne se produisent que d'un seul côté. Sur les premières, on observe que les disques épais ont considérablement diminué d'épaisseur, et quelquefois des 9/10 environ ; les disques minces n'ont pas changé, mais les espaces clairs ont disparu. Sur les ondes latérales, le même phénomène se reproduit sur le côté gonflé de la fibre, tandis que les parties restent sensiblement dans les mêmes rapports sur le côté où l'onde ne s'est pas produite. La striation longitudinale a, d'ailleurs, disparu sur le nœud de contraction ; mais dans le voisinage de ce nœud, avant et après, les éléments de la fibre sont dérangés et obliqués par rapport à l'axe de la fibre, parce qu'ils ont été inégalement déplacés par l'onde qui ne s'est produite que d'un côté. Cette obliquité des éléments du disque épais,

remarquée par Amici, avait été considérée par lui comme la cause de la contraction et du raccourcissement du muscle contracté. Au lieu d'une cause, ce n'est qu'un effet.

Est-ce donc ainsi qu'un muscle se contracte sur l'animal vivant? — Non, bien certainement, car cette onde qui se déplace le long d'une fibre ne saurait en amener le raccourcissement total et ne pourrait produire le mouvement du levier osseux sur lequel agit le muscle. — Aeby, à qui l'on doit la connaissance des ondes de contraction, a constaté, du reste, qu'on les produit en excitant un point d'un muscle par un courant électrique et qu'elles se propagent de chaque côté du point excité ; mais si l'on excite le muscle par son nerf, il se contracte en totalité et se raccourcit notablement en augmentant d'épaisseur. De plus, sur les animaux assez petits et assez transparents pour qu'on puisse les examiner vivants sous le microscope, comme le sont beaucoup de Crustacés d'eau douce, on voit les muscles des pattes et des antennes se contracter en totalité pour produire les mouvements. (Ranvier).

Néanmoins, cette observation des ondes nous montre les disques minces comme des éléments peu ou point contractiles, tandis que les disques épais paraissent doués d'une contractilité énergique.

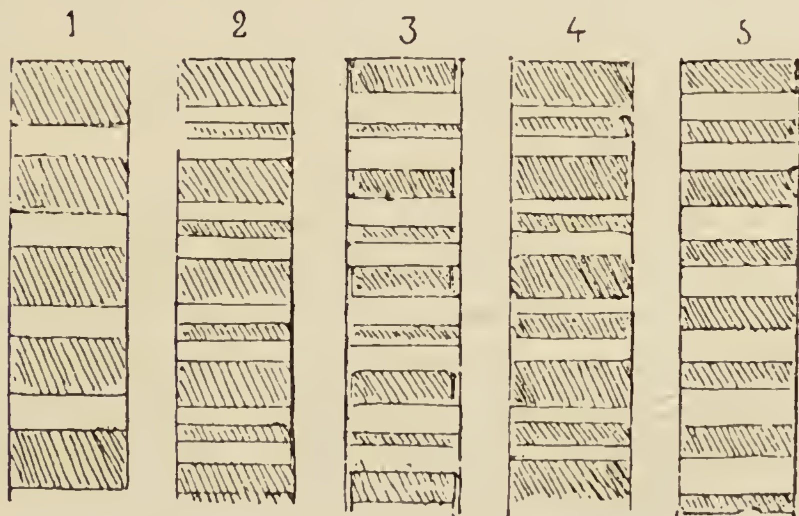


Fig. 72. — Schéma des fibres musculaires relâchées et contractées.

1. Muscle blanc fixé en relâchement; 2, le même en extension; 3, le même tétanisé; 4, muscle rouge fixé en extension; 5, le même tétanisé tendu.

Mais nous pouvons examiner les muscles, par exemple les

muscles blancs du lapin, dans quatre états différents : 1° tendus; 2° revenus sur eux-mêmes; 3° contractés, (tétanisés par l'électricité) et maintenus en extension ; 4° tétanisés à l'état de relâchement. Nous pouvons même les fixer dans ces différents états par des injections interstitielles d'acide osmique, en ayant soin, dans les deux derniers cas, où nous faisons agir l'électricité, de les mettre, d'un côté, en rapport avec l'appareil galvanique, par un fil métallique plongé entre les faisceaux, et de fixer l'autre rhéophore à la canule en or de la seringue. De cette manière, la contraction se produira au moment où la canule sera introduite dans le muscle, et en poussant l'injection au même instant, la fixation des éléments sera immédiate.

Si l'on fixe par l'acide osmique des faisceaux d'un muscle revenu sur lui-même, non tendu, nous savons qu'on n'observe qu'une série de zônes, alternativement obscures et claires (1, *fig.* 72) ; mais si l'on opère sur un muscle convenablement tendu, on obtient le détail complet des disque épais, espace clair, disque mince, espace clair, etc. (2, *fig.* 72).

Si, d'autre part, on tétanise un muscle abandonné au relâchement, et revenu sur lui-même, les éléments musculaires prennent l'aspect que nous avons indiqué pour les ondes de contraction, c'est-à-dire que les disques épais diminuent de hauteur et ne sont plus séparés que par les disques minces, les espaces clairs ayant disparu, ce qui donne une striation alternativement obscure et moins obscure, analogue à celle de la fibre relâchée (1, *fig.* 72).

Mais si l'on maintient le muscle dans l'extension et qu'on le tétanise par un courant à interruptions très-rapprochées, on observe avec la plus grande netteté les disques minces restés sensiblement les mêmes que dans le muscle simplement tendu, les disques épais notablement diminués de hauteur et même de largeur, tandis que les bandes claires sont agrandies (3, *fig.* 72).

La contraction des disques épais est encore plus marquée si l'on opère sur un muscle à contraction lente, le demi-tendineux, par exemple. Les disques minces, déjà plus épais dans ce muscle simplement tendu (4, *fig.* 72), que sur les muscles

à contraction brusque, sont notablement augmentés, mais les disques épais sont tellement contractés qu'on les distingue à peine des disques minces (5, *fig.* 72).

De cet ensemble d'expériences il résulte évidemment qu'il y a deux choses à considérer dans un muscle : son *élasticité*, qui est une propriété mécanique, et sa *contractilité*, qui est une propriété physiologique. Ainsi, si l'on détache de l'une de ses insertions le couturier de la grenouille, qui, tendu et en place, mesurait 43 millimètres, il revient aussitôt sur lui-même par élasticité mécanique et n'offre plus qu'une longueur de 34 millimètres. Si, alors on le tétanise, il se contracte par action physiologique et ne mesure plus que 22 millimètres. L'action de l'élasticité étant mesurée par la différence de 43 à 34 = 9, celle de la contraction est représentée par la différence de 34 à 22 = 12. Si on l'avait laissé en place et que le membre, supposé non pesant, eût pu librement exécuter le mouvement transmis par cet effort musculaire, il eut pu éprouver un déplacement de 21 millimètres, dû à la somme de travail accompli par l'élasticité et par la contraction des éléments du muscle (1).

Or, qu'arrive-t-il quand le muscle revient sur lui-même, soit passivement, par simple relâchement, soit activement, par contraction ? Les espaces clairs disparaissent,—c'est au moins là le phénomène le plus saillant. Si, au contraire, on tend le muscle, les espaces clairs s'agrandissent ; si on le tétanise en le maintenant tendu, les espaces clairs s'agrandissent encore, pendant que les disques épais se contractent dans tous les

(1) Si l'on fait cette expérience en laissant le muscle en place, en extension, et qu'on le tétanise, au lieu de revenir à une longueur de 22 millimètres, il ne revient qu'à 32 millimètres, c'est-à-dire que sa contraction ne l'eût raccourci que de 2 millimètres de plus que la simple élasticité, quand il revient sur lui-même par relâchement (34 millimètres).

C'est que, dans ce cas, il a à vaincre la résistance due au poids du membre inférieur qu'il doit mouvoir, résistance qui fait ainsi équilibre à un effort de 10 millimètres (différence entre 32 millimètres, longueur du muscle relâché mais attaché à ses insertions, et 22 millimètres, longueur du muscle détaché de son insertion inférieure), résistance qu'il est ici seul à vaincre, tandis que dans les mouvements naturels de l'animal, son action est aidée par celle de tous les muscles synergiques qui agissent comme lui sur le membre.

sens. Quant aux disques minces ils ne paraissent pas changer ou bien ils augmentent un peu de hauteur surtout dans les muscles à contraction lente tétanisés tendus (5, *fig.* 72).

Il paraît donc évident que les espaces clairs sont ses éléments essentiellement élastiques, tendant mécaniquement à rapprocher les disques minces des disques épais si rien ne fait obstacle, pendant le relâchement passif ou la contraction active mais libre, le muscle n'étant pas maintenu en extension. Que, si le muscle est tendu, ce sont les espaces clairs seuls qui s'agrandissent par cette même élasticité, ils jouent donc le rôle de rondelles en caoutchouc qui seraient soudées d'une part aux disques minces, de l'autre aux disques épais. Ces derniers sont au contraire les éléments essentiellement contractiles; en se contractant, ils diminuent de volume, attirent à eux les disques minces par l'intermédiaire des bandes claires qui se resserrent par leur élasticité, et le muscle se raccourcit en s'élargissant, s'il n'est maintenu forcément en extension; si, au contraire, il est maintenu tendu, les disques épais se contractent néanmoins, mais le muscle ne pouvant se raccourcir, les bandes claires cèdent, grâce encore à leur élasticité, et s'agrandissent. Qu'on détache alors le muscle il se rétracte aussitôt, les disques restent les mêmes, mais les bandes claires se sont resserrées, comme des lames de caoutchouc qu'on aurait distendues et qu'on relâcherait.

Quant aux disques minces, ils sont sans doute doués d'une certaine élasticité, car ils paraissent un peu agrandis dans les muscles à contraction lente tétanisés et tendus (5, *fig.* 72) où les disques épais, excessivement contractés, *tirent* énormément sur les bandes claires, lesquelles très-distendues tirent à leur tour sur les disques minces pour les élargir. Cependant, nous pensons qu'ils n'ont peut-être qu'un rôle plus passif encore, pour ainsi dire celui de consolider le tissu musculaire. Placés dans l'épaisseur de la substance élastique claire, ils forment des diaphragmes fixes et à peu près rigides donnant une attache solide sur leurs deux faces à la substance élastique, la segmentent et limitent son action en même temps qu'ils déterminent la direction, si l'on peut ainsi dire, de cette action. Une

bande élastique unique placée entre deux disques épais aurait subi une traction en deux sens opposés par le raccourcissement de ces deux disques, qui eût pu se répartir inégalement dans la masse et peut-être amené des ruptures. Par l'interposition du disque mince l'action de chaque disque épais est limitée à la couche de substance élastique qui est immédiatement en contact avec lui au-dessus et au-dessous. C'est ainsi qu'on mêle des corps durs aux matières qui servent comme *colle* ou comme *ciment* pour leur donner plus de cohésion, c'est-à-dire d'adhérence à elles-mêmes.

Enfin, les disques minces servent encore, à ce que nous croyons, à donner aux muscles de la solidité *dans le sens latéral*. Amici avait déjà signalé sur les muscles des pattes de la mouche, la forme festonnée des faisceaux; c'est dans les *creux* des festons qui sont les disques minces (*m*, *fig*. 71), soudés, en ce point, au sarcolemme. Ce fait se produisant sur toutes les fibrilles d'un même faisceau, les disques minces se correspondant entre eux, au même niveau, peuvent être soudés en ces mêmes points les uns aux autres, ce qui établirait une continuité entre tous les disques minces situés sur même plan dans un faisceau. Cette disposition assurerait la solidité des muscles dans le sens latéral, solidité qui est cependant moins grande que dans le sens de la longueur des fibres, car il est plus facile de dissocier les faisceaux en fibrilles que de les rompre en disques; et il devait en être ainsi, puisque ces fibrilles ne sont unies que par des points isolés, au niveau des disques minces, tandis que ces derniers forment pour ainsi dire des plaques continues dans toute l'épaisseur du faisceau.

On pourrait même presque dire que cette disposition est nécessaire : les fibres ou les cylindres primitifs des faisceaux sont évidemment unis les uns aux autres, et ils le sont assez faiblement, surtout chez les animaux où les éléments musculaires sont grands (parce que les disques minces sont plus espacés). On ne peut guère admettre qu'ils sont unis au niveau des disques épais, car en ces points la contraction de ces disques qui s'accompagne du gonflement latéral, non pas du disque

lui-même (lequel se resserre au contraire), mais de l'espèce de *case musculaire* dans lequel il est logé, par suite du retrait de la substance élastique et du déplacement du plasma, rend nécessaire qu'il y ait un certain jeu entre les fibres. On peut d'ailleurs constater sur les faisceaux des pattes de l'hydrophile fixés par l'alcool et colorés par l'hématoxyline la trace de la soudure des disques minces sur la paroi interne du sarcolemme.

Nous avons un peu longuement insisté sur le rôle du disque mince, parce qu'il nous a semblé que ce rôle avait été jusqu'à présent assez incomplétement défini. En résumé, cet élément serait, selon nous, une sorte de cloison fixée sur le sarcolemme, d'une part, pour les fibres périphériques du faisceau, et dès lors, très-probablement, unie aussi, d'autre part, aux autres disques minces situés au même niveau dans les fibres voisines; cette cloison servirait à segmenter la fibre en une série de cases musculaires, selon l'expression de Krause, individualisant chaque élément contractile dans une sphère d'action particulière. Cette cloison fixée au sarcolemme devrait être rigide, séparant les cases en même temps qu'elle les unit, formant à tout cet ensemble une sorte de charpente intime et donnant à tout le tissu une solidité qui lui permette de résister aux efforts violents dont il doit être le siége.

De cet ensemble d'observations nous pouvons conclure la théorie de la contraction musculaire telle que la formule Ranvier, et pour cela nous n'avons qu'à résumer en quelques mots ce que nous avons dit dans la page précédente :

La fibre musculaire est à la fois élastique et contractile, et le disque épais est le seul élément contractile. Dans le muscle tendu, le disque épais a la forme d'un bâtonnet allongé dans le sens de l'axe du faisceau (comme le *sarcous élément* prismatique de Bowman); la contraction a naturellement pour effet de le réduire d'abord à la forme suivant laquelle il occupe le moindre volume, c'est-à-dire à la forme sphérique. En devenant sphérique, il diminue de hauteur, mais sa largeur augmente, et les deux dimensions deviennent naturellement égales. Mais l'effet de la contraction ne s'arrête pas là, la sphère ainsi

formée dépasse cette position d'équilibre et se resserre de manière à diminuer encore de volume. On comprend ainsi le raccourcissement du muscle et son durcissement, mais on sait qu'en même temps il s'élargit. Cet élargissement s'explique d'une part, par la compression des bandes claires contenant le disque mince, lesquelles resserrées par la contraction des disques épais, comprimées dans le sens de la hauteur, se dilatent par leur élasticité, dans le sens de la largeur. D'autre part, le disque épais est imprégné d'un plasma musculaire plus ou moins dense qui, au moment de la contraction, en est exprimé et vient se placer sur les côtés (1).

(1) Beaucoup de théories ont été proposées pour expliquer la contraction musculaire ; quelques-unes sont anciennes et ne peuvent plus être discutées, mais parmi les plus récentes, il en est une ou deux que nous devons résumer en quelques mots.

La théorie de Krause (1868) admet que les disques minces sont des cloisons divisant la fibre en cases musculaires superposées. Dans chacune de ses cases est un prisme, correspondant au disque épais et qui n'en remplit pas toute la cavité. Ces disques épais ne sont pas contractiles, ils ne changent, pendant la contraction, ni de forme ni de volume, tout le phénomène consiste en ceci : aux deux extrémités du prisme est accumulé un liquide qui pendant la contraction vient se placer sur les côtés de celui-ci ; la case musculaire est ainsi diminuée de hauteur et agrandie de largeur. Cette théorie ingénieuse pèche par la base en posant en principe que le disque épais n'est pas contractile; l'observation directe du muscle tétanisé tendu prouve que cet élément est, au contraire, essentiellement contractile.

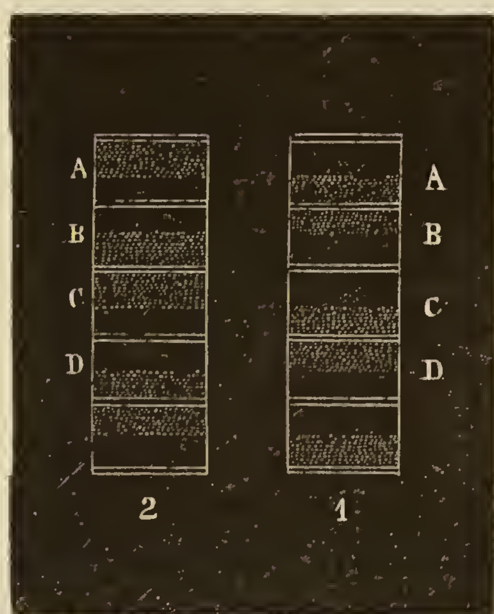


Fig. 73. — Schéma de la contraction musculaire d'après la théorie de Merkel.

1. — Muscle en repos. — 2. Contraction.

Merkel (1872) suppose que la strie de Hensen au milieu du disque épais correspond, comme le disque mince, à une cloison. La case musculaire de Krause est ainsi divisée en deux demi-cases ; mais il n'y a

Nous ne croyons pas utile d'expliquer comment la contraction des disques épais doit ramener celui-ci à la forme sphérique; d'abord, cela est conforme aux lois de la mécanique et c'est, en effet, en revenant à sa forme sphérique ou en s'en approchant le plus possible que se contractent les autres éléments

pas de disques épais. Les demi-cases sont remplies par un liquide épais qui, à l'état de repos du muscle, s'accumule en augmentant de consistance contre la strie ou cloison de Hensen, de sorte qu'en considérant deux cases voisines A et B, C et D on obtient l'apparence que nous connaissons (1, *fig.* 73), un disque mince, une bande claire, un disque épais séparé en deux par la strie de Hensen, un espace clair, un disque mince, etc.

Quand le muscle est contracté, le liquide s'accumule au contraire en s'épaississant contre les disques minces et l'on obtient une apparence semblable à celle du muscle en repos, mais absolument inverse (2, *fig.* 73) et dans laquelle les parties claires correspondent à celles qui étaient obscures dans le premier cas, mais c'est la fine strie de Hensen qui figure ce qui était le disque mince.

Enfin, dans l'état d'équilibre, le liquide diffuse également dans toute la demi-case, il n'y a plus alors de disque épais, ni de strie intermédiaire; le disque mince peut être seul visible et encore toutes les parties prenant alors la même réfringence, il est plus probable qu'on ne verra plus aucune strie. Ce stade aurait, en effet, été vu par plusieurs observateurs, notamment par Kölliker qui dit avoir constaté l'existence de fibres sans aucune striation.

Cette théorie est très-remarquable, et l'idée de l'inversion des éléments ne laisse pas que de présenter quelque probabilité ; elle n'a d'ailleurs point été réfutée jusqu'ici, cependant elle n'explique pas la contraction dans sa manifestation la plus saillante et la plus utile, le raccourcissement, qui, en somme, est l'agent immédiat des mouvements. Merkel nous montre une fibre invariable dans laquelle un déplacement de matière, conçu certainement d'une manière très-ingénieuse, capable de rendre bien compte de certaines apparences, ne saurait produire ni raccourcissement, ni élargissement.

Engelmann (1873) a combattu cette théorie, en se fondant sur la théorie de l'onde de contraction saisie par l'acide osmique. Pour lui, il n'y a pas d'inversion, les fibres sont toujours striées, mais les parties ne sont pas identiques dans tous les stades, ce qui est incontestable. La contraction est due au disque épais qui absorbe, comme par imbibition, un liquide qui, pendant le relâchement, occupe les espaces clairs. On comprend ainsi le raccourcissement de la fibre, mais alors le disque épais qui absorbe un liquide doit augmenter de volume, tandis qu'au contraire il diminue dans toutes ses dimensions.

Nous croyons inutile de discuter les anciennes théories d'Amici, de Rouget, de Brücke. Amici se fondant sur quelques observations faites sur les muscles des pattes de la mouche dans lesquels il avait constaté

contractiles que nous connaissons, les cellules lymphatiques, par exemple, et les cellules autonomes qui composent le corps des Amibes, des Rhizopodes, d'un grand nombre d'Infusoires. Enfin, si les fibres musculaires lisses ne deviennent pas complétement sphériques en se contractant, elles se rapprochent néanmoins le plus possible de cette forme, les fibres fusiformes deviennent ovalaires et les cellules très allongées deviennent fusiformes.

Ainsi donc, pour nous résumer, il y a dans la fibre striée des éléments contractiles, les disques épais des éléments élastiques, les espaces clairs; quant aux disques minces, peut-être élastiques, ils paraissent avoir surtout un rôle mécanique, celui de diaphragme ou de tampon. La raison de la striation, c'est-à-dire de cette division de la fibre en éléments

que les éléments de Bowman, ou disques épais, étaient obliques à l'axe des fibres, voyait dans ce fait le mécanisme de la contraction Tous ces éléments s'inclinant de droite à gauche, par exemple, dans un disque de Bowman, de gauche à droite dans le disque suivant, puis de droite à gauche et ainsi de suite, amenaient le raccourcissement du faisceau et son élargissement par un mécanisme semblable à celui des zigzags sur lesquels les enfants font manœuvrer des soldats de bois. L'inclinaison des éléments musculaires par rapport à l'axe n'est pas une cause mais un effet; elle provient de ce que les faisceaux ont été inégalement tiraillés par leurs bords ou déplacés par le voisinage d'une onde de contraction.

Rouget, de Montpellier, a pris les stries transversales des faisceaux musculaires pour les tours d'une sorte de filament spiral analogue au pédoncule d'une vorticelle. La fibre s'allongerait et se raccourcirait comme un élastique de jarretière. Cette doctrine n'est pas soutenable après les observations directes que nous avons décrites.

Quant à la théorie de Brücke, c'est une simple vue de l'esprit, conçue moins dans le but d'expliquer la contraction que de rendre compte du mode d'action des différents éléments de la fibre sur la lumière polarisée. C'est lui qui, à ce que nous croyons, a le premier appliqué la lumière polarisée à l'étude de la fibre musculaire et a reconnu que les disques sont biréfringents tandis que les bandes claires sont monoréfringentes. Appliquant alors l'hypothèse de Bartholin sur la constitution d'un cristal biréfringent de spath d'Islande en prismes *disdiaclastes*, Brücke a supposé que les disques biréfringents sont composés de disques disdiaclastes. Quand le muscle est relâché les disques se présentent de front; quand il est contracté les disques se resserrent et se présentent de file. Il n'y a là, nous le répétons, qu'une hypothèse optique, mais non une doctrine physiologique.

excessivement petits, doit être cherchée dans la nécessité de multiplier les surfaces d'échange. La contraction, en effet, s'accompagne de phénomènes de nutrition et de dénutrition des éléments qui doivent être d'autant plus actifs et plus rapides que la contraction est plus rapide elle-même et plus brusque. Un muscle qui se contracte consomme plus qu'un muscle en repos, et le sang veineux qui en sort est plus chargé d'acide carbonique et de principes désassimilés que celui qui sort d'un muscle au repos. Il faut donc, pour cette nutrition active, des surfaces étendues et d'autant plus étendues que l'action doit être plus énergique et plus brusque. Dans les muscles lisses qui se contractent lentement, les échanges physiologiques se font aussi plus lentement, et la fibre n'est pas striée ni segmentée en une infinité d'éléments contractiles ; chaque fibre cellule constitue, dans son entier, un seul élément contractile. Et cela paraît tellement vrai que le réseau capillaire sanguin qui sert à la nutrition des muscles lisses n'a pas, comme nous le verrons incessamment, la même forme que celui des muscles brusques : les capillaires présentent des renflements, sortes de varicosités qui semblent devoir servir de réservoirs au sang pour la nutrition du muscle pendant la contraction qui est lente et durant laquelle la compression des vaisseaux par le muscle gonflé ralentit et gêne la circulation. La nutrition n'y serait pas assez active, les surfaces étant d'ailleurs restreintes, si le sang n'y était pour ainsi dire emmagasiné.

Quant à ces muscles particuliers qu'on peut regarder comme intermédiaires, entre les muscles lisses et les muscles striés ordinaires, ces muscles qui sont rouges chez le lapin et dont la contraction est plus brusque que celle des premiers, plus lente que celle des seconds, la lenteur de leur réaction est due à une autre cause, car ils sont striés comme les muscles blancs. Les espaces clairs y sont évidemment plus élastiques que dans les muscles striés à contraction brusque, ainsi qu'on peut le constater sur les muscles rouges tétanisés tendus (5, *fig.* 72), où on les voit s'agrandir considérablement sous la traction des disques épais contractés. Et, en effet, les muscles rouges sont plus élasti-

ques ou plus extensibles que les muscles blancs. Il en résulte qu'au moment où les disques épais se contractent, leur action ne produit pas immédiatement le raccourcissement de la fibre, mais d'abord l'élargissement des bandes claires, qui ensuite réagissent en revenant sur elles mêmes et déterminent secondairement le raccourcissement de la fibre.« C'est pour cela, dit Ranvier, qu'un muscle rouge excité par une série de secousses d'un courant d'induction (10 à 20 par seconde, par exemple) se contracte peu à peu et sans interruption jusqu'à son maximum de raccourcissement, les parties élastiques servant d'intermédiaires pour emmagasiner en quelque sorte la force de contraction, tandis que, dans les muscles blancs, où ces parties sont moins élastiques, chaque secousse produit une contraction brusque suivie d'une décontraction. »

Meyer a avancé que ces muscles rouges représentent un état d'atrophie commençante ou de dégénérescence des muscles blancs, se fondant sur ce qu'on ne les rencontre que chez les animaux dont la constitution est abâtardie par la domesticité. C'est là une erreur, on les trouve chez le lapin sauvage, comme chez le lapin domestique, chez les poissons — nous avons déjà nommé la raie, l'hippocampe, etc., etc. — Ils existent chez le chat, chez les poules et les dindons domestiques (Lavocat), mais nous les avons aussi rencontrés dans les pattes de beaucoup de petits passereaux, oiseaux percheurs qui ont besoin de pouvoir saisir longtemps sans fatigue la branche sur laquelle ils se posent, par exemple, pendant le sommeil. Les muscles des ailes chez ces oiseaux au vol rapide, sont toujours composés de fibres à contraction brusque. Nous croyons que les muscles lents sont bien plus communs qu'on ne le pense chez les vertébrés, mais on les a jusqu'ici peu cherchés et, d'ailleurs, ils ne présentent que rarement la coloration rouge qu'on leur trouve chez le lapin. (Chez les poissons ils paraissent plus chargés de granulations graisseuses que les muscles brusques). Constamment, nous l'avons dit, ils présentent un plus grand nombre de noyaux, souvent moins rapprochés du sarcolemme, quelques-uns même sont parfois logés encore dans l'épaisseur de la substance musculaire. Comme on le comprendra, en étudiant le

mode de développement des muscles, ils paraîtraient donc non pas des muscles atrophiés, mais, au contraire, des muscles plus jeunes, plus voisins de l'état embryonnaire que les muscles à contraction brusque. D'ailleurs, quand des muscles s'atrophient par manque d'exercice, comme chez les oiseaux qui ne volent pas, ce sont les muscles rouges qui persistent, les blancs qui disparaissent. De plus, il y a des muscles rouges congénères des muscles blancs, et enfin on connaît des muscles mixtes, le triceps huméral du lapin, par exemple, composés en certaines parties de fibres lentes et en d'autres de fibres brusques. Et si l'on fatigue ces muscles par une série de secousses d'induction ils donnent d'abord une réaction mixte, mais la fatigue détruit bientôt l'action des fibres brusques tandis que celle des fibres lentes persiste longtemps encore.

Ils semblent donc devoir jouer un rôle dans la station, dans l'équilibration, présider aux contractions qui doivent être plutôt maintenues longtemps que brusquement exercées, et tendre à fournir une contraction musculaire constante.

Étude du muscle par la méthode graphique. — Helmholtz a le premier appliqué la méthode graphique à l'étude de la contraction musculaire, et son appareil *myographe* est décrit dans la plupart des traités de physiologie. Avec cet appareil, il a pu constater que si l'on excite le nerf à une distance plus ou moins grande du muscle, la secousse met un certain temps à se produire. Le temps écoulé entre le moment de l'excitation du nerf et celui où la secousse se produit est mesuré par le myographe, et il représente le temps nécessaire à la propagation du courant nerveux. Mais si l'on excite le muscle lui-même, la secousse ne se produit pas non plus d'une manière instantanée ; il y a un *temps perdu du muscle* (Marey).

Marey a fait, sur ce phénomène, d'importants travaux dont nous devons signaler les points les plus importants. Son appareil est un cylindre recouvert de papier enduit d'une fine couche de noir de fumée. Ce cylindre est animé d'un mouvement de rotation autour de son axe, mouvement que l'on peut faire plus ou moins rapide, par un mécanisme d'horlogerie exces-

sivement précis et muni d'un régulateur Foucault. Le muscle est placé dans une *pince myographique* dont chaque mors, en communication avec un des pôles d'un appareil d'induction, est formé par un petit tambour composé de deux membranes très-minces et convenablement tendues. L'intérieur de chaque tambour, plein d'air, communique par un tube en caoutchouc avec un autre petit tambour semblable sur l'une des membranes duquel est appuyée l'extrémité d'un index très-léger, en forme de levier; l'autre extrémité de cet index, taillée en pointe fine, vient affleurer la couche de noir de fumée du cylindre enregistreur. On comprend que si l'on ferme le courant le muscle placé entre les deux tambours de la pince se contracte et en se contractant se gonfle ; il presse alors sur les

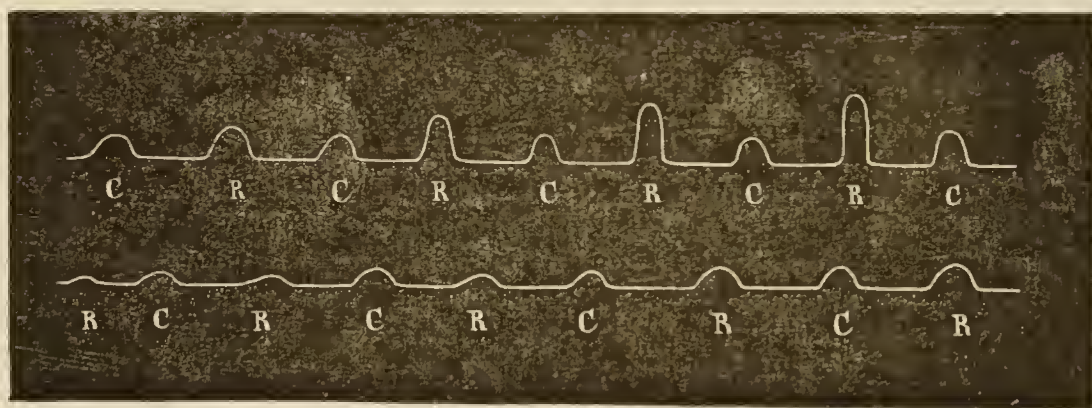


Fig. 71. — Tracé des secousses données par un muscle avec un courant d'induction interrompu.
C. clôture ; R. rupture. (1)

deux membranes tendues et l'air contenu dans chaque tambour est instantanément ébranlé. Cet ébranlement transmis par les tubes en caoutchouc à l'air compris dans le tambour enregistreur agit sur la membrane de celui-ci qui imprime un mouvement à l'index. La pointe de l'index trace alors sur le noir de fumée un trait dont la hauteur est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à l'amplitude de l'ébranlement transmis, c'est-à-dire à la dilatation du muscle pendant la contraction. (Cette dila-

(1) Le mouvement va de droite à gauche, il faut ajouter la ligne inférieure à la suite de la ligne supérieure.

tation du muscle est d'ailleurs proportionnelle à son raccourcissement). Si le cylindre ne tournait pas, la contraction cessant, l'index en retombant dans sa position première formerait un trait qui retomberait sur le premier et l'on n'aurait que cette figure : | . Mais comme le cylindre se déplace en même temps, l'index en s'élevant et en retombant inscrit une courbe dont l'ouverture est proportionnelle à la durée de la contraction (C, *fig.* 74).

Marey a établi ainsi qu'au moment où l'on ferme le courant, il se reproduit une secousse C; quand on le rompt, une nouvelle secousse dont l'amplitude est beaucoup plus considérable R. Quand le muscle se fatigue ou se refroidit, la secousse de clôture diminue d'amplitude et augmente de durée, puis disparaît tout à fait (1) ; la secousse de rupture persiste plus longtemps, mais elle diminue d'amplitude et augmente de durée, toutefois la durée ne compense pas l'amplitude.

Ainsi quand le muscle se fatigue par une série de secousses, l'amplitude des secousses diminue et leur durée augmente. En effet, ce n'est pas l'élasticité du muscle qui diminue, c'est évidemment la contractilité; l'élasticité reste la même, mais le rapport entre l'élasticité et la contractilité change. La durée est d'autant plus grande qu'on a affaire à un muscle plus élastique.

Nous avons supposé jusqu'ici qu'on agit sur un muscle ordinaire, muscle blanc du lapin, par exemple ; mais si au lieu de faire subir à ce muscle des secousses espacées, on lui applique des excitations très-rapprochées, les secousses de contraction ne sont plus distinctes, elles se fusionnent ; le muscle ne retombe pas au relâchement entre chacune d'elles, il se tétanise (Helmholtz). Le tétanos (T, *fig.* 75) est d'abord incomplet, les secousses sont encore appréciables par des dentelures sur le sommet de la courbe ; mais à mesure que le muscle se refroidit et se fatigue, ou bien si l'on augmente le nombre des interruptions par seconde, les dentelures s'effacent et le som-

(1) Les abscisses mesurent les temps et les ordonnées mesurent les amplitudes des secousses.

met de la courbe du tétanos devient une ligne droite parallèle à l'axe des x ou, par la fatigue, un peu descendante.

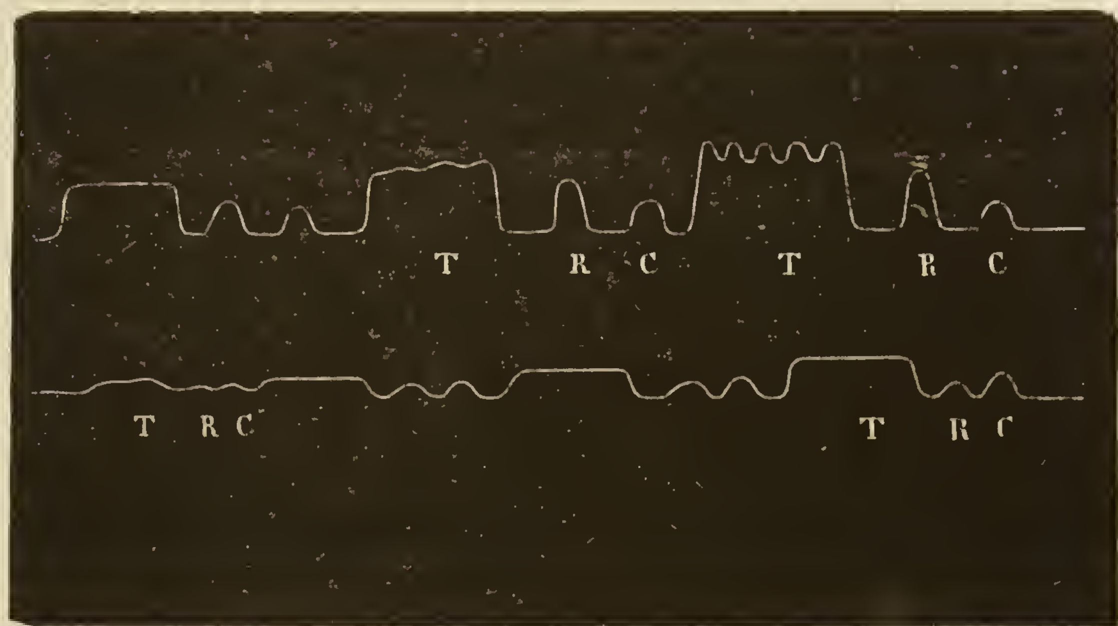


Fig. 75. — Tracé des secousses données par un muscle blanc de lapin. C, clôture; R, rupture: T, tétanos. (Le tracé commence à droite; la ligne inférieure fait suite à la première.)

On reconnaît ainsi que, par le refroidissement et la fatigue, la secousse de clôture diminuant, puis s'effaçant, la secousse de rupture diminuant d'amplitude et augmentant de durée, le tétanos, d'abord incomplet, marqué par une courbe sinueuse, devient complet et se traduit par une ligne droite parallèle à l'axe des abscisses; mais son amplitude est toujours plus grande que celle des secousses et toujours proportionnelle à l'amplitude des secousses.

Si on augmente le nombre des interruptions, on obtient tout de suite le tétanos complet. Ainsi un muscle frais, non fatigué, qui donne une courbe tétanique sinueuse avec 10 interruptions par exemple, donne aussitôt une courbe tétanique à sommet rectiligne pour 40 interruptions, par seconde.

Si l'on opère sur un muscle d'animal à sang froid, de grenouille par exemple, on n'a plus à tenir compte du refroidissement, dont les effets sont sensiblement les mêmes que ceux de la fatigue, et l'on obtient des phénomènes semblables, sauf que le tétanos se produit toujours, non plus par une

ligne parallèle à l'axe des temps ou légèrement descendante, mais au contraire par une ligne ascendante.

Enfin, si l'appareil enregistreur indique le moment exact où l'on clôt le courant à l'origine *o*, on voit que la secousse du muscle ne se produit qu'au bout d'un certain temps pendant lequel l'index a tracé, sur l'axe des temps *x*, la ligne droite *oc* (*fig.* 76). Cette ligne mesure le *temps perdu du muscle.* (Marey).

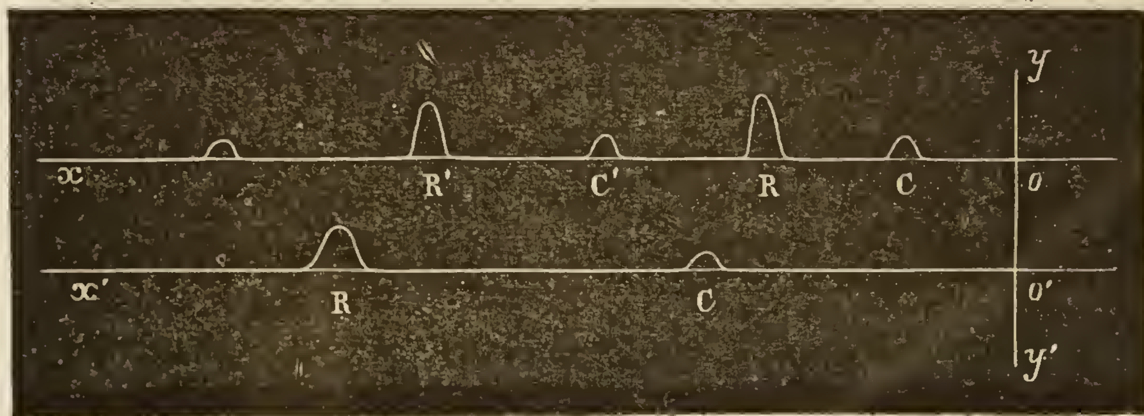


Fig. 76. — Tracé du temps perdu du muscle.
o x. Tracé du muscle frais.
o' x'. Tracé du muscle fatigué.

Ce temps perdu est très-court sur un muscle frais, mais il s'accroît beaucoup avec la fatigue. Ainsi, si l'on établit, par un mécanisme approprié, les courants de clôture et de rupture à des intervalles égaux, les secousses C, R, C', R', etc., au lieu de s'inscrire à des distances égales, s'éloignent peu à peu, parce que la fatigue survenant, le temps perdu augmente, et, sur le muscle fatigué, on peut obtenir un tracé comme *o' x'*, où le temps perdu est 3 ou 4 fois plus considérable.

Mais on peut compenser la fatigue en augmentant *l'intensité* du courant et réduire sur un muscle fatigué le temps perdu à n'être pas plus grand que sur le même muscle frais.

Si l'on attache à un poids un fil métallique que l'on suppose absolument rigide, inextensible, non élastique, et que l'on tire sur le fil, le poids est déplacé aussitôt, il n'y a pas eu de temps perdu dans la transmission du mouvement. Mais si au

lieu d'un fil inextensible, on emploie un fil en caoutchouc, celui-ci se tendra d'abord par son élasticité, et ce n'est que quand le fil reviendra sur lui-même que le poids sera déplacé; il y aura donc un temps perdu, et ce temps sera d'autant plus long que le fil sera plus extensible ou plus élastique. Si enfin on commence par tendre le fil élastique jusqu'à la limite de son extensibilité, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'il ne puisse plus s'allonger, il deviendra alors comme un fil rigide, inextensible et la traction qu'on exercera à ce moment sur lui sera immédiatement transmise au poids qui se déplacera comme dans le premier cas, sans temps perdu.

Le temps perdu, dans le muscle qui est extensible, est dû à l'élasticité de celui-ci; mais le muscle est en même temps contractile, ce que n'est pas notre fil de caoutchouc; c'est cette contractilité qui exerce la traction sur le muscle, elle diminue avec la fatigue du muscle tandis que l'élasticité reste constante ; le rapport entre ces deux quantités change, et le temps perdu augmente.

On peut même supposer le moment où l'effet produit sur la contractilité sera tout entier absorbé pour vaincre l'élasticité, et la contraction quoique se produisant réellement ne se traduira plus par aucun travail ; mais si par un courant plus énergique on donne à la contractilité une intensité plus grande, l'élasticité restant toujours la même, le rapport entre ces deux quantités changera en sens inverse et pourra redevenir ce qu'il était à l'origine, le temps perdu diminuera et redeviendra ce qu'il était sur le muscle frais.

On voit donc que ces expériences électro-physiologiques dont l'exposé peut paraître étranger à notre sujet, s'y rattachent, au contraire, d'une manière intime, puisqu'elles nous prouvent la justesse des hypothèses sur la nature et le rôle des éléments élastiques et des éléments contractiles des muscles auxquelles nous avons été amenés par l'étude histologique de la fibre musculaire.

L'élasticité du muscle est, avons-nous dit, une cause du temps perdu, mais est-ce la seule ? — S'il en était ainsi, il suffirait de la détruire en tendant le muscle par des poids, comme

l'a fait Ranvier, jusqu'à ce que la limite de son élasticité soit dépassée et qu'il ne puisse plus s'étendre, ainsi que nous l'avons supposé plus haut, pour le fil de caoutchouc. On constate alors que, malgré l'extension forcée et complète, il y a encore un temps perdu, quoique moindre. Ainsi l'élasticité n'est pas le seul facteur qui produit le temps perdu.

Si, comme nous l'avons indiqué plus haut, la fatigue survenant dans le muscle en expérience, les secousses diminuent d'amplitude parce que la contractilité diminue, elles augmentent de durée parce que l'élasticité persiste, et le rapport entre ces deux quantités a changé. C'est un temps perdu à la décontraction. Mais la diminution d'amplitude ne compense pas l'augmentation de durée, parce qu'il y a un autre facteur que l'élasticité, facteur dans lequel on peut raisonnablement faire entrer l'inertie.

Que si l'on répète maintenant sur les muscles rouges du lapin les expériences que nous venons d'indiquer sur les muscles blancs, on observe des phénomènes qui confirment encore notre manière de voir. Les muscles rouges sont plus élastiques que les blancs, ils doivent donc avoir un temps perdu plus considérable; c'est ce qui est vrai, en effet.

Si l'on applique à un muscle rouge une série de courants de clôture et de rupture, on reconnaît qu'ils impriment des secousses à peu près égales, quoique la secousse de rupture ait ordinairement un peu plus d'amplitude que la secousse de clôture. Mais le temps perdu peut être, toutes choses égales d'ailleurs, 8 ou 10 fois plus considérable. Par la fatigue et le refroidissement, les secousses de clôture et de rupture arrivent rapidement à détruire la contractilité, car si l'élasticité est très-grande et reste telle, la contractilité diminuant, les secousses ne sont bientôt plus sensibles, toute l'action développée par la secousse musculaire est épuisée par l'élasticité. De plus, le muscle fatigué, ne donnant plus de secousse par les courants de clôture et de rupture, entre encore en tétanos; il n'y a donc plus, entre l'amplitude de la secousse et celle du tétanos, le rapport constant que nous avons trouvé sur les muscles blancs. Le courant qui sur un muscle blanc ne fournirait qu'un

tétanos incomplet produit un tétanos complet sur le muscle rouge.

Ainsi, sous l'influence de la fatigue, les muscles blancs prennent certains caractères des muscles rouges : par exemple, l'augmentation du temps perdu; et l'on peut dire que ces derniers sont des muscles blancs normalement fatigués. La durée de la secousse dans le muscle blanc est d'autant plus grande qu'il est plus fatigué et ressemble de plus en plus à celle du muscle rouge non fatigué; cependant cette secousse est encore différente, particulièrement dans la courbe de décontraction (fig. 77) qui est concave au lieu d'être convexe. Mais il y a dans le mode de réaction de ces deux espèces de muscles une différence caractéristique : tandis que dans les muscles blancs l'amplitude du tétanos est proportionnelle à la secousse, cette proportionnalité n'existe pas pour les muscles rouges qui donnent encore un tétanos alors qu'il n'est plus possible de produire de secousses. Enfin, la forme de la ligne tétanique n'est pas la même.



Fig. 77. — Tracés comparés d'une secousse d'un muscle blanc et d'un muscle rouge.
a. — Muscle blanc fatigué.
b. — Muscle rouge.

Nous savons qu'il y a des muscles mixtes, nous avons cité le triceps huméral du lapin. Si l'on soumet ce muscle à l'action d'un appareil d'induction, on obtient des secousses de clôture, de rupture et de tétanos jusqu'à épuisement. Au début, la secousse de clôture est plus petite que celle de rupture, et la

ligne du tétanos est ascendante, comme au début de l'action dans certains muscles de grenouille, mais elle conserve cette forme jusqu'à l'épuisement. Ainsi, sauf cette particularité de la ligne du tétanos, le tracé est celui des muscles blancs, mais à la fin, il prend de plus en plus l'aspect de celui des muscles rouges. Donc, ce sont les fibres blanches qui se fatiguent les premières.

Nous ne pousserons pas plus loin cette étude électro-physiologique du tissu musculaire, les détails dans lesquels nous sommes entrés suffisent à notre but qui était de démontrer que les résultats fournis par ces expériences viennent à l'appui des conclusions que nous avons tirées de l'examen histologique de ce tissu.

On peut d'ailleurs trouver dans d'autres phénomènes physiques offerts par les muscles une nouvelle confirmation des vues que avons exposées sur le mécanisme de la contraction.

On sait, en effet, que lorsqu'un rayon de lumière traverse un corps marqué de stries très-rapprochées, alternativement opaques et transparentes, il produit des spectres de diffraction d'autant plus nombreux et étalés que les stries sont plus rapprochées dans une longueur donnée. On fabrique pour les expériences d'optique des lames de verres marquées de stries à la machine à diviser avec une pointe de diamant. Ces stries sont opaques, les intervalles sont transparents. On désigne ces lames sous le nom de *réseaux*. Un muscle étant strié de bandes alternativement claires et obscures peut, s'il est suffisamment mince, agir comme un réseau et donner des spectres de diffraction. Le couturier de la grenouille qui est très-mince formé de fibres bien parallèles, se prête très-bien à ce genre d'observation.

Si l'on place un de ces muscles convenablement préparé devant l'orifice d'un tube noirci à l'intérieur et fermé à l'autre extrémité par une plaque percée d'une fente mince, puis que l'axe du muscle orienté perpendiculairement à la fente, on dirige l'appareil vers une lumière vive, on voit non plus une fente unique mais une série de fentes parallèles étalées en spectres. Or, il y a une relation mathématique entre l'angle formé

par le rayon visuel qui va de l'œil à la fente avec celui qui va de l'œil au premier spectre et le nombre de stries contenues dans l'unité de longueur du réseau, de sorte que connaissant cet angle on peut calculer le nombre de stries que contient un millimètre d'un muscle dans ses différents états physiologiques. On trouve ainsi que le couturier de la grenouille, modérément tendu, contient environ 800 stries par millimètre, tandis qu'un muscle blanc de lapin en contient un peu plus de 600. Les stries de la grenouille sont donc plus fines et plus serrées que celles du lapin, ce que le microscope nous avait déjà révélé.

Mais on peut opérer sur un muscle relâché, tendu, contracté, tétanisé tendu, et voir qu'à l'état de contraction, si le muscle est libre par ses attaches, il donne des spectres plus étalés, plus nombreux et plus éloignés de la fente; les stries se sont donc rapprochées comme nous l'avait appris l'examen histologique. Mais si le muscle est tétanisé et maintenu en extension, les spectres ne changent pas; les stries n'ont donc pas bougé, ainsi que nous le savions par les expériences de Ranvier. Enfin, dans tous les états, les muscles donnent toujours des spectres de diffraction. Or, ces dernières observations optiques ont une grande importance au point de vue de la théorie de la contraction, car elles établissent que dans ce phénomène physiologique il n'y a que rapprochement des stries, mais non changement dans leur nature ou leur direction, car les spectres produits seraient dérangés ou troublés; il n'y a pas davantage inversion des éléments clairs et obscurs, ce qui déplacerait les spectres. Les théories de Merkel, de Brücke, d'Engelmann (voir la note de la page 241), ne sont donc pas exactes. De plus, il n'y a pas d'état dans lequel les muscles, à moins qu'ils ne soient altérés, n'offrent pas de stries (Merkel), car ils donnent toujours des spectres.

On le voit, la théorie de la contraction musculaire que nous avons exposée (et avec d'assez longs détails, parce qu'elle est nouvelle) est d'accord avec tous les faits, et, seule jusqu'à présent, elle peut les expliquer.

Ajoutons que les muscles donnant des spectres, on peut les

employer au lieu de prismes pour construire un spectroscope. L'appareil sera d'ailleurs construit de même, sauf qu'au lieu d'un système plus ou moins compliqué de prismes pour observer la fente lumineuse, on se servira d'un muscle, par exemple, un couturier de grenouille bien préparé et monté dans le Baume du Canada. On obtiendra ainsi plusieurs spectres dont les derniers pourront être assez confus, mais les premiers, si la préparation est bonne, seront toujours assez nets pour qu'on puisse à leur aide étudier les bandes d'absorption fournis par les diverses substances et notamment par l'hémoglobine.

V

RAPPORTS DES FAISCEAUX MUSCULAIRES

Rapports des faisceaux musculaires entre eux. — Nous avons vu que les derniers éléments longitudinaux dont le microscope nous révèle l'existence dans un muscle, sont des fibrilles excessivement fines que nous avons supposées réunies les unes aux autres par les bords des disques minces lesquels les solidarisent et les consolident. Par leur réunion, ces fibrilles composent des cylindres primitifs réunis les uns aux autres et séparés par une substance cimentante dont la section sur les coupes transversales des muscles constitue les champs de Cohnheim. Un certain nombre de ces cylindres primitifs ainsi réunis et enveloppés par une membrane commune, le sarcolemme, forment les faisceaux primitifs.

C'est à ce point que nous nous sommes arrêtés dans l'étude de la structure des muscles. En effet, nous avons dit que si l'on ne connaît pas d'animal dans lequel on puisse observer la fibrille élémentaire isolée, il en est, les insectes, par exemple, qui présentent des muscles formés de cylindres primitifs libres ; tels sont les muscles des ailes de l'hydrophile, de la mouche, etc... ; mais il est aussi des animaux chez lesquels certains muscles ne sont constitués que par des faisceaux primitifs associés, tel est le couturier de la grenouille.

Si l'on fait une coupe transversale de ce muscle, convenablement durci, on y reconnaît un ensemble de faisceaux pri-

mitifs séparés les uns des autres par leur sarcolemme respectif et enveloppés sous une couche commune de tissu conjonctif, contenant les cellules plates, caractéristiques de ce tissu, des vaisseaux et des nerfs (1).

C'est là la structure la plus simple d'un muscle de vertébré, et si l'on examine la coupe transversale d'un couturier de lapin, dont les faisceaux sont parallèles entre eux, on voit qu'un certain nombre de faisceaux primitifs sont enveloppés par une lame de tissu conjonctif pour former des *faisceaux secondaires*, lesquels à leur tour sont enveloppés par une autre couche conjonctive et réunis en *faisceaux ternaires*, et ceux-ci encore

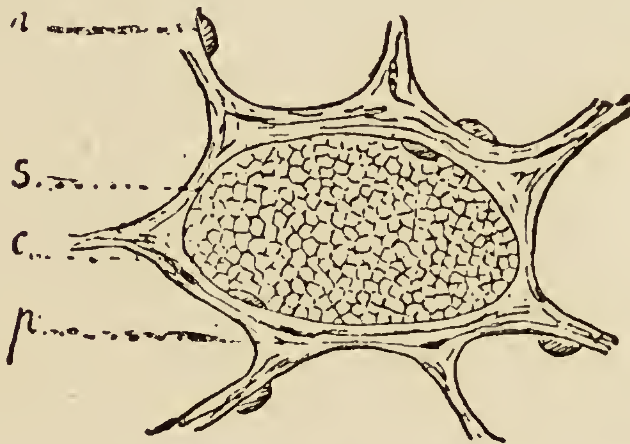


Fig. 78. — Coupe transversale d'un muscle de lapin ;
Champs de Cohnheim.
c, faisceau musculaire ; *n*, noyaux ; *s*, sarcolemme ; *p*, tissu conjonctif

en *faisceaux quaternaires*, et ainsi de suite. Enfin, le muscle tout entier est recouvert d'une épaisse couche conjonctive qui paraît ainsi envoyer des prolongements dans l'épaisseur du muscle entre les faisceaux pour les répartir et les diviser en départements, arrondissements, cantons, etc., des muscles.

Ce tissu conjonctif enveloppant et interfasciculaire, auquel on donne souvent le nom de *perimysium*, est, à peu de choses

(1) Rappelons que chez la grenouille comme chez les insectes (muscles des pattes), on trouve des noyaux compris dans l'intérieur des faisceaux, moulés entre les cylindres primitifs, tandis que chez les mammifères, (muscles blancs) les noyaux sont placés immédiatement sous le sarcolemme.

près, constitué comme le tissu conjonctif sous-cutané que nous avons étudié. Malgré l'apparence, il n'est pas composé de lamelles, comme l'ont avancé quelques auteurs, mais de faisceaux connectifs dans lesquels, avec de très-forts grossissements, on reconnaît des fibres élastiques très-fines et peu nombreuses. On y retrouve aussi les cellules plates endothéliales qui, de profil, paraissent fusiformes — Les faisceaux connectifs sont en général longitudinaux ou obliques avec quelques fibres transversales ; les couches qu'ils forment sont de moins en moins épaisses à mesure qu'elles pénètrent dans l'épaisseur du muscle et le subdivisent en îlots plus petits.

Enfin, dans ce tissu vaguent de nombreuses cellules lymphatiques, et l'on voit que le système forme comme une vaste cavité séreuse dans laquelle sont plongés les faisceaux musculaires.

Quant aux vaisseaux et aux nerfs, que nous étudierons plus tard, ils circulent dans le tissu conjonctif enveloppant et interfasciculaire qui les accompagne, jusqu'au moment où ils atteignent les faisceaux secondaires.

Rapports des muscles avec les tendons et le squelette. — Les muscles s'insèrent ordinairement sur les os par l'intermédiaire d'un tendon. Nous savons que les tendons sont formés par une série de faisceaux qui se décomposent en fibrilles comparables aux cylindres primitifs des faisceaux musculaires. Entre ces faisceaux sont des cellules plus ou moins aplaties par la pression, de formes très-variées, qui peuvent avoir les caractères de cellules de cartilage, être même renfermées dans des capsules ou, enfin, représenter des corpuscules osseux au voisinage de l'os. Pour se rendre un compte exact du mode d'union des tendons avec les os, il faut remonter à l'embryon ou au nouveau-né chez lesquels l'os est encore à l'état de cartilage. Si l'on examine des coupes longitudinales intéressant à la fois le tendon et le cartilage, on voit que les cellules se continuent sans interruption entre les faisceaux qui se pénètrent, de sorte qu'on ne pourrait pas reconnaître la limite où finit le cartilage et où commence le tendon, si l'on n'avait la ressource d'employer la lumière polarisée.

On se rappelle, en effet, que le cartilage embryonnaire est monoréfringent, tandis que le tissu fibreux, dès son apparition, est biréfringent. Cet artifice permet de reconnaître que les fibres tendineuses pénètrent dans la substance du cartilage, car il n'y a point de périoste au point de l'insertion du tendon, et au fur et à mesure que le cartilage se remplace par de la substance osseuse, les fibres tendineuses qui y ont pénétré y restent comprises, jusque vers la cavité médullaire, et y deviennent des fibres de Sharpey.

Nous avons vu les fibres de Sharpey servir de travées directrices à l'os périostique ; les fibres tendineuses, au point où elles plongent dans la substance osseuse peuvent même jouer ce rôle, pour ainsi dire en dehors de l'os, car l'ossification du corps de l'os étant achevée, elle se continue encore au-dessus de sa surface extérieure, le long des fibres tendineuses qui paraissent ainsi s'insérer sur une éminence, sur une crête osseuse (ligne âpre), crête qui, chez l'embryon, était représentée par une dépression.

On comprend combien est intime l'union des tendons avec les os ; il nous reste à examiner maintenant comment se fait l'insertion des muscles sur les tendons.

C'est à Kölliker qu'on doit les premières notions un peu précises sur ce sujet, mais il admettait deux modes d'insertion, Weismann a montré qu'il n'y en a qu'un seul (1861).

Pour cela, il a employé la potasse caustique à 35-40 pour 100, qu'il a fait agir sur de petits muscles tels que le gastro-cnémien de la grenouille. Il a vu ainsi chaque faisceau primitif se continuer par un petit tendon qui vient s'insérer obliquement sur l'aponévrose du tendon d'Achille; mais le faisceau primitif, qui constitue ainsi une individualité et correspond à un élément cellulaire, ne se continue pas d'une manière insensible avec son tendon ; il se termine, au contraire, d'une manière brusque sur ce tendon par une extrémité, soit conique et mousse, soit dentelée, chaque dentelure correspondant à un où à plusieurs cylindres primitifs. La potasse détruit l'adhérence du muscle avec le tendon, les deux parties se séparent et l'extrémité du tendon conserve en creux l'empreinte de la pointe

musculaire qui y était logée. Weismann a cru que le sarcolemme était conservé tout autour du faisceau musculaire, même sur la partie musculaire séparée du tendon; il a pensé que l'union des deux éléments était due à un ciment que la potasse dissout.

Tout ce qu'a vu Weismann est exact, l'explication seule est erronée, le sarcolemme est dissous par la potasse et le contour qui le représente, contour dans lequel on voit les noyaux, n'est que du plasma musculaire coagulé qui conserve la forme, le *moule* interne du sarcolemme disparu; et s'il y a eu désunion du muscle et du tendon, c'est que le sarcolemme a été dissous.

On en acquiert la preuve si l'on examine la réaction sous le microscope en faisant pénétrer par capillarité une goutte de potasse à 40 pour 100 sous la lamelle qui recouvre une préparation dans laquelle on a dissocié quelques faisceaux primitifs du gastrocnémien sans les séparer de leur insertion sur l'expansion aponévrotique, insertion qui se fait bien par autant de petits tendons. Si l'on a fixé l'extrémité libre des faisceaux sur le verre, on voit, à mesure que la potasse agit, chaque faisceau se rétracter et il se forme un espace clair, en forme de croissant, entre le tendon et le muscle qui se rétracte dans le sarcolemme ramolli mais non encore dissous. Autour des noyaux une rétraction semblable se produit, et la cavité dans laquelle chacun d'eux est logé s'agrandit avec la rétraction de la substance musculaire. — Jusqu'ici le tendon et le muscle sont encore en continuité par le sarcolemme, l'adhérence de la substance musculaire avec le sarcolemme étant détruite, mais non l'union du sarcolemme avec le tendon. Mais bientôt le sarcolemme est dissous, et le muscle se trouve absolument séparé de son tendon.

Ranvier a imaginé une méthode beaucoup plus démonstrative et qui a l'avantage de ne pas dissoudre le sarcolemme, tout en diminuant l'adhérence des éléments. Elle consiste à plonger pendant 15 à 20 minutes une grenouille vivante dans de l'eau à 55°. L'animal meurt rapidement et entre en rigidité cadavérique; la substance albuminoïde des muscles se coagule tandis que le tissu conjonctif se ramollit, ce qui permet de dissocier

avec la plus grande facilité des faisceaux musculaires du gastrocnémien, en ayant soin de ne pas rompre les insertions tendineuses devenues très-fragiles. On reconnaît que la substance musculaire est rétractée, terminée par une pointe plus ou moins dentelée dont l'extrémité du tendon reproduit l'empreinte assez exacte, sous forme d'une sorte de cupule. Entre cette cupule et l'extrémité de la substance musculaire est un espace dans lequel des noyaux semblent nager dans le plasma, espace que l'on peut rendre très-évident, car il se colore en brun violacé par l'iode, parce que le plasma contient de la matière glycogène. Quant au sarcolemme, il limite bien nettement cet espace sur les côtés ; mais, double-t-il la cupule tendineuse? c'est-ce qui semble extrêmement probable, car la cupule paraît nettement limitée par un double contour.



Fig. 79. — Insertion d'un faisceau musculaire sur son tendon, après l'action de l'eau à 55°.

m, faisceau musculaire ; *t*, faisceau tendineux ; *e*, espace intermédiaire limité par le sarcolemme et contenant du plasma avec des noyaux, *n*, série de noyaux du tendon.

Les fibres tendineuses se terminent brusquement sur la cupule, et là on voit une série de noyaux allongés parallèlement à l'axe du tendon.

Les poissons se prêtent très-bien à cette étude, et Ranvier signale les petits muscles de la nageoire dorsale de l'hippocampe. Les petits muscles, fixés par l'acide osmique et examinés dans l'eau, fournissent des faisceaux primitifs enveloppés par un sarcolemme trop large dans lequel est une matière granuleuse contenant les noyaux; ainsi que nous l'avons signalé ailleurs, les cylindres primitifs y sont saillants (voir la note de la page 226).

Le tendon est adhérent à l'extrémité du muscle, et l'on voit nettement le sarcolemme, ou du moins une ligne limitée par

un double contour, passer entre ces deux éléments et border la cupule tendineuse, mais la matière granuleuse qui double le sarcolemme cesse au niveau de la cupule et n'existe pas sous la continuation apparente du sarcolemme entre le muscle et le tendon — à l'extrémité de ce dernier on voit une série de noyaux ovalaires parallèles à l'axe du tendon.



Fig. 80. — Insertion d'un muscle sur le tendon.
aa' disques minces.
mm, dernière couche de disques minces doublée en dessous par le sarcolemme.
t, tendon.

Ainsi, il y a une union très-intime entre le sarcolemme et le tendon, puisqu'on ne peut, pour ainsi dire, pas les distinguer l'un de l'autre et qu'il faut détruire le sarcolemme pour séparer le muscle du tendon. Cette dernière observation nous parait démontrer que le sarcolemme revêt l'extrémité du faisceau dans la cupule tendineuse, comme l'a supposé Weismann. Il y aurait donc non-seulement un ciment entre le tendon et le sarcolemme, mais un autre entre le muscle et le sarcolemme.

On a parlé d'une attraction moléculaire, de l'action du *vide*, pour expliquer cette double adhérence. Ces hypothèses ne sont pas soutenables et nous ne les discuterons pas. Pour nous, nous croyons que l'adhérence entre le muscle et le tendon se fait par le dernier disque mince de chaque fibrille, ou, (tous les disques minces étant reliés entre eux dans l'épaisseur d'un faisceau primitif), par la dernière couche de disques minces correspondant à un cylindre primitif, à un groupe de cylindres, ou même au faisceau primitif tout entier, comme il arrive sur les muscles des poissons. Le sarcolemme est adhérent à chaque strate de disques minces, (*a a'*, fig. 80) et, en particulier, au dernier strate (*m m'*) qu'il double à sa face extérieure, car le

faisceau musculaire résulte du développement d'une cellule dont le sarcolemme est la membrane. Le sarcolemme enveloppe donc le faisceau musculaire sur toute sa surface extérieure, même entre ce dernier et le tendon, comme l'a supposé Weissmann. Si l'on recherche, en effet, à reconnaître quel est le dernier élément du faisceau qui se présente au niveau de l'insertion tendineuse, on constate, ainsi que l'a figuré Amici, que c'est un espace clair (*fig.* 80) succédant à un disque épais beaucoup plus haut que les autres; par conséquent, l'insertion elle-même se fait par un disque mince (*mm'*) uni ou confondu avec le sarcolemme terminal.

VI

HISTOCHIMIE DU MUSCLE

La composition chimique du tissu musculaire est très-complexe ; on aurait à considérer la substance musculaire elle-même, le sarcolemme, les noyaux et le tissu conjonctif enveloppant. Ce dernier se comporte évidemment avec les réactifs, comme le tissu conjonctif des autres parties du corps. Quant aux noyaux, ils offrent les mêmes caractères que les noyaux de cellules dont nous avons parlé antérieurement et, parmi ces caractères, l'un des plus importants est l'insolubilité dans l'acide acétique ; le sarcolemme présente quelque analogie avec la substance élastique, mais nous avons vu qu'il est soluble dans la potasse concentrée.

La substance musculaire renferme à peu près 75 p. 100 d'eau; à l'état vivant, elle est imbibée d'un plasma musculaire, que Kühne a obtenu par la pression et qui se coagule spontanément, en un caillot floconneux formé d'une nature albuminoïde, fibrine musculaire ou *myosine*, et laisse séparer un liquide ou *serum musculaire*.

La myosine diffère de la fibrine du sang en ce qu'elle se dissout dans l'acide chohydrique faible (qui gonfle seulement la fibrine sans la dissoudre) et donne de la *syntonine*. Elle se dissout aussi dans les alcalis, mais non dans l'acide azonique ni dans le carbonate de potasse. Soluble dans le chlorure de sodium

à 10 p. 100,elle se précipite de sa dissolution à une température de 55° à 60°.

C'est à la coagulation spontanée de la myosine après la mort qu'est dû le phénomène de la rigidité cadavérique, phénomène qu'on peut produire immédiatement en plongeant un animal vivant dans de l'eau à 55°, pendant un temps suffisant pour que ses tissus se mettent en équilibre de température avec le milieu ambiant. Nous avons mis à profit cette réaction pour dissocier plus aisément les faisceaux musculaires de la grenouille. Ceux-ci ont, en effet, pris une plus grande consistance, tandis que le tissu conjonctif qui les réunit s'est au contraire ramolli, en raison de la gélatine qu'il contient.

Quant au sérum musculaire c'est un liquide très-complexe; il contient une albumine coagulable comme celle du serum du sang et une série de produits de désassimilation de la substance musculaire, la *créatine*, la *créatinine*, la *xanthine*, l'*hypoxanthine*, etc. Enfin Scherer y a constaté la présence d'une matière sucrée particulière, le sucre musculaire ou *inosite*.

Une découverte importante est celle de la matière glycogène dans les muscles des embryons, par Cl. Bernard. Cette matière existe aussi, d'ailleurs, dans les muscles des adultes, mais en plus petite quantité; nous avons dit que les muscles de la grenouille en contiennent toujours en proportion plus ou moins considérable, suivant les saisons: la grenouille est, du reste, un animal que l'on peut considérer comme étant continuellement en voie de croissance. Il est fort remarquable, d'autre part, que la matière glycogène se trouve dans presque toutes les cellules contractiles : Kühne l'a trouvée dans les plasmodies des myxomycètes, sortes de champignons doués de mouvement, Ranvier dans les cellules lymphatiques, etc.

Pendant la vie, le plasma musculaire est alcalin, mais il devient acide après la mort, par formation d'acide lactique. Il serait plus exact de dire que le muscle au repos est alcalin, mais qu'il devient acide, même pendant la vie, lorsqu'il est fatigué; il se forme des acides inosique, lactique, sarcolactique, etc. C'est à la formation de ces acides et particulièrement de l'acide lactique qu'est due la cessation de la rigidité cadavé-

rique. Au bout d'un certain temps, l'acide lactique redissout la myosine qui s'était coagulée et qui est, comme on le sait, soluble dans les acides dilués.

Les muscles sont plus ou moins colorés en rouge par une substance qu'on a cru d'abord être l'hémoglobine du sang contenue dans les capillaires musculaires.

C'est une erreur : En lavant tout le système vasculaire d'un animal fraîchement tué, un lapin, par exemple, avec une solution de sel marin à 2 p. 100, qui entraîne les globules mais ne les dissout pas, il arrive un moment où le liquide sort complètement incolore; le système vasculaire est donc complètement lavé et ne contient plus de sang, mais si l'on examine les muscles on les trouve encore colorés. Ils sont donc pénétrés d'une *hémoglobine musculaire* qui a, d'ailleurs, les mêmes réactions chimiques et spectroscopiques que l'hémoglobine du sang. Aussi un morceau de muscle donne-t-il au spectroscope les mêmes bandes d'absorption qu'une dissolution de sang : deux bandes, si on l'a placé au contact de l'air (hémoglobine oxygène), une seule bande, s'il a été renfermé dans un espace privé d'air, (hémoglobine réduite). Le même muscle peut donner les deux réactions dans ses différentes parties : ainsi, en plaçant entre deux lames de verre un muscle frais, on voit, même à l'œil nu, ses bords, autour desquels l'air circule, rester d'un rouge vif, tandis que le centre, privé du contact de l'oxygène, devient verdâtre ; les bords donneront au spectroscope deux bandes d'absorption, tandis que le centre n'en donnera qu'une.

Cette hémoglobine comprise dans la substance même du muscle agit donc comme un magasin de cet oxygène indispensable à l'action physiologique du tissu. Or, le sang ne peut circuler facilement, en raison de la constriction des vaisseaux, dans un muscle contracté ; il est donc nécessaire que ce dernier conserve une réserve d'oxygène sur l'hémoglobine musculaire. Et plus le muscle aura une contraction lente et longue, plus il lui faudra emmagasiner d'oxygène ; aussi les muscles striés à contraction lente, muscles *rouges* du lapin et, en général, des mammifères, doivent-ils leur coloration à un excès

d'hémoglobine. Nous savons, d'autre part, que les capillaires sanguins qui s'y distribuent sont munis de varicosités ou de réservoirs destinés à maintenir une plus grande quantité de sang au contact avec les faisceaux musculaires pendant la durée de leur contraction.

Aussi, si les muscles absorbent de l'oxygène, ils rendent de l'acide carbonique et en quantité d'autant plus considérable qu'ils sont soumis à un travail plus violent ou plus soutenu.

Enfin, les muscles contiennent une grande quantité de sels minéraux. Tandis que le plasma est plus riche en sels de soude, le tissu musculaire en contient très-peu, et beaucoup de sels de potasse, notamment à l'état de phosphates. Il faut y joindre une notable proportion de phosphate de magnésie, une faible quantité de phosphate de chaux et une très-faible de chlorure de sodium.

VII

DÉVELOPPEMENT DES MUSCLES

Schwann avait admis que les faisceaux primitifs se forment par la réunion, l'accolement dans toute leur longueur d'autant de cellules embryonnaires très-allongées qu'il y a de fibrilles dans le faisceau. Il admettait de plus que la membrane qu'il supposait autour de ces cellules disparaissait entre elles et ne subsistait qu'à la périphérie. Nous savons maintenant que les cellules embryonnaires sont des protoblastes, c'est-à-dire manquent de membrane.

Mais Kölliker a reconnu, en examinant les muscles à peine formés des mains et des pieds d'embryons humains de 2 à 3 mois et les muscles des jambes, que les faisceaux primitifs résultent de la transformation d'une seule cellule embryonnaire extrêmement allongée et dont le noyau s'est multiplié par voie de division. — Ainsi les noyaux que nous avons constatés sur les faisceaux primitifs ne sont que la progéniture du noyau de la cellule embryonnaire musculo-formative.

Ce n'est guère qu'à six semaines ou deux mois que les muscles commencent à prendre chez l'embryon des caractères qui les rendent reconnaissables.— Si l'on dissocie dans le sérum iodé

un petit fragment de tissu musculaire, on reconnaît que les faisceaux ont l'aspect d'une fibre ou d'un tube sur les bords duquel commence à apparaître une couche striée en long et en travers; la partie interne contient un protoplasma granuleux que l'iode colore en violet, en raison de la matière glycogène qu'il contient (Ch. Bernard), avec un grand nombre de noyaux. Ceux-ci présentent un ou deux nucléoles ovalaires vésiculeux et brillants, et, par leur position et leur forme montrent les caractères de la multiplication.

Au fur et à mesure que l'on examine des muscles un peu plus âgés, on voit que des couches striées se déposent sur les couches périphériques déjà formées, d'où résulte la striation longitudinale. Mais les couches laissent par place des fentes par lesquelles le protoplasma intérieur fuse, pour ainsi dire, entre les couches striées, et se met en rapport avec la surface de la cellule alors recouverte d'une membrane, le sarcolemme.

Ces fentes, naturellement allongées dans le sens du faisceau, puisqu'elles résultent d'une sorte d'écartement des fibrilles striées, semblent produites par la poussée des noyaux. Ces derniers, en effet, paraissent chassés du centre vers la surface par la formation successive des couches striées, et viennent se loger dans ces sortes de fossettes où nous les retrouvons sur les muscles adultes, entourés d'une zone du protoplasma qui les a accompagnés, et appliqués à la surface de la substance musculaire, immédiatement sous le sarcolemme.

Il est remarquable que chez les Batraciens, chez la grenouille, par exemple, dont les petits têtards sont faciles à étudier, la migration des noyaux ne se fait pas de la même manière que chez les mammifères. Ils restent englobés, non pas entre les fibrilles, mais entre les paquets de fibrilles qui forment les cylindres primitifs. — Un certain nombre se font jour, il est vrai, jusque sous le sarcolemme, mais beaucoup restent entre les cylindres où nous les retrouvons plus tard, aplatis et déformés, dans les muscles de la grenouille adulte.

Quant à l'accroissement des muscles depuis l'époque où ils sont complétement formés, par exemple au moment de la naissance, jusqu'à l'âge adulte, il paraît se produire par l'augmen-

tation des faisceaux en longueur et en largeur, car, chez l'embryon de 4 à 5 mois, on trouve souvent des faisceaux cinq fois plus volumineux que ceux de l'embryon de 2 mois, chez le nouveau-né, des faisceaux 2, 3, 4 fois plus volumineux que ceux du fœtus de 4 mois, et chez l'adulte cinq fois plus considérables que chez le nouveau-né (Kölliker). Il faut donc que les fibrilles deviennent plus nombreuses, car, suivant Harting, elles conservent, à peu de choses près, le même diamètre. Il est donc possible que la nutrition du muscle détermine la formation de nouvelles fibrilles aux dépens du plasma musculaire, ce que nous admettons plus volontiers que la subdivision des premières fibrilles avec accroissement de ces nouvelles fibrilles jusqu'au diamètre de celles dont elles sont issues. Nous admettons la fibrille comme l'élément morphologique du faisceau musculaire considéré dans sa longueur, nous comprenons que, pendant la vie de l'adulte, il puisse se former de nouveaux éléments semblables aux dépens du plasma, comme se sont formés les premiers; mais il nous paraît, jusqu'à présent du moins, difficile de comprendre la division de ces éléments fibrillaires, qui ne sont point des cellules, ne possèdent ni noyaux, ni nucléoles et ne se présentent que comme des produits de transformation ou d'organisation du protoplasma de la cellule embryonnaire musculo-formative, devenue faisceau primitif.

Il est certain que chez les grenouilles adultes, en hiver, Budge, Wittich, Weismann, Kölliker ont reconnu la formation de fibres nouvelles. Le fait est, d'ailleurs, assez facile à vérifier; on peut, sur le gastrocnémien de la grenouille, compter, à l'aide d'un oculaire micromètre, le nombre des faisceaux musculaires, et l'on reconnaît qu'en opérant sur des animaux de plus en plus âgés, le nombre des faisceaux augmente considérablement : si la taille des grenouilles varie dans le rapport de 1 : 6, le nombre des faisceaux augmente presque dans le même rapport. Mais les observations de Weismann et de Kölliker, qui établissent bien l'existence, chez les grenouilles d'hiver adultes, de fibrilles de nouvelle formation, ne prouvent en aucune façon que la fibrille nouvelle résulte de la di-

vision longitudinale d'une fibrille préexistante, plutôt que de l'application sur cette fibrille ancienne d'une néoformation fibrillaire résultant d'un travail du plasma musculaire.

La grenouille est, d'ailleurs, nous l'avons dit déjà, un animal chez lequel l'accroissement est continu. — Ce fait semble expliquer comment les noyaux persistent dans l'intérieur des faisceaux, tandis qu'ils sont, de bonne heure, chez les mammifères, refoulés hors de la substance musculaire sous le sarcolemme. — Il se pourrait donc que ces noyaux agissent comme des centres d'action pour la formation de nouveaux éléments musculaires, se comportant, dans la suite du développement, comme le noyau de la cellule embryonnaire primitive elle-même; mais il ne s'en suivrait pas, d'une manière nécessaire, que le processus d'accroissement musculo-formateur fût le même chez les mammifères. Là, en effet, les noyaux sont, pour ainsi dire, expulsés dès que le faisceau est constitué, faisceau dont l'augmentation en volume ne pourrait plus se faire alors que par l'application de nouvelles couches de protoplasma transformé, ou nouvelles fibrilles, dans le faisceau tout formé, par une sorte d'intussusception et non plus par la multiplication de ces faisceaux.

Quelques auteurs ont voulu faire jouer au tissu conjonctif interne des muscles un rôle dans la production des fibres musculaires nouvelles (Wittich). Cette opinion ne nous paraît pas plus soutenable que celle qui ferait naître les fibres nerveuses du tissu connectif dont elles sont entourées.

VIII

MUSCLE CARDIAQUE

Fibres musculaires du cœur. — Ainsi que nous l'avons dit précédemment, le cœur est un muscle à contraction involontaire dont les fibres sont striées. Mais, bien qu'ayant beaucoup de ressemblance, en raison même de cette striation, avec les fibres musculaires de la vie animale, les fibres cardiaques présentent néanmoins beaucoup de différences.

L'une des plus importantes avait été déjà reconnue par Leeu-

wenhoeck : les fibres musculaires du cœur, au lieu d'être simples comme celles des muscles volontaires, sont anastomosées entre elles et constituent un véritable réseau dont les mailles très-serrées dans le tissu des ventricules, plus larges dans celui des oreillettes, s'étendent et plongent en tous sens dans la profondeur du myocarde. On peut s'en convaincre en examinant des coupes minces pratiquées dans un fragment de cœur desséché. On reconnaît d'abord les ramifications des fibres, ramifications qui se détachant d'une fibre, ou plutôt d'un faisceau, sous un angle en général assez aigu, vont se confondre sous un angle à peu près égal avec un autre faisceau, soit sur le même plan, soit sur un plan supérieur ou inférieur. De plus, on reconnaît que si un certain nombre de faisceaux se présentent, dans la coupe, suivant leur longueur, d'autres sont coupés obliquement ou même perpendiculairement à leur axe, ce qui démontre qu'au lieu d'être disposés par couches parallèles, ils plongent dans les différents plans du muscle.

De plus, ces faisceaux qui représentent les faisceaux primitifs des muscles striés volontaires ne présentent pas de sarcolemme. Aussi le tissu cardiaque est-il beaucoup plus friable que celui des autres muscles striés.

On remarque dans ces faisceaux des noyaux intérieurs ovalaires allongés dans le sens de l'axe du faisceau, entourés d'une zone de substance granuleuse, réfringente, que l'on voit, sur les coupes transversales, envoyer comme des cloisons dans l'épaisseur du faisceau et le subdiviser en cylindres primitifs. Peut-être cette même substance se répand-elle à la surface du faisceau pour le séparer des faisceaux voisins et remplacer le sarcolemme absent.

D'ailleurs, ces faisceaux présentent la striation longitudinale et la striation transversale, quoique, les stries longitudinales surtout, paraissent en général moins marquées que sur les autres muscles ; ils se divisent moins facilement en disques et montrent des granulations jaunâtres, réfringentes comme les corps gras, en nombre beaucoup plus considérable. La largeur des faisceaux est très-variable, et chez l'homme adulte ne dépasse pas 100 μ. Leur constitution est la même que celle

des faisceaux des autres muscles striés, en ce sens que la fibrille comprend des disques minces et des disques épais séparés par des espaces claires. Sur des fibrilles tendues et colorées à l'hématoxyline, on constate même un resserrement de la fibrille au niveau des disques minces et une striation au milieu des disques épais. Enfin, ceux-ci paraissent souvent se subdiviser en trois disques accessoires dont un médian et deux terminaux.

L'extrême analogie de structure des fibres cardiaques et des fibres musculaires de la vie animale a dû faire supposer que le mode de la contraction est le même chez les unes et les autres; c'est, en effet, ce que l'expérience a démontré. Mais l'étude de la contraction des fibres cardiaques amène à des conclusions qui paraîtraient inattendues s'il n'était logique d'attribuer les mêmes propriétés fondamentales à des éléments de même structure. On sait, par une ancienne expérience de Stannius, que si l'on extrait le cœur d'une grenouille vivante, celui-ci continue de battre avec le rhythme qu'on lui connaît. Il a été admis jusqu'à ce jour que ces contractions sont dues à l'excitation nerveuse émanée des cellules ganglionnaires contenues dans le tissu des oreillettes et de la cloison auriculo-ventriculaire. En effet, si l'on sépare la pointe du cœur, par un coup de rasoir vif, qui tranche les fibres cardiaques sans les écraser, cette partie cesse de se contracter, tandis que la portion encore adhérente à l'oreillette, (oreillette unique, chez les grenouilles), continue ses pulsations régulières. Mais, si l'on soumet la pointe du cœur, ainsi séparée, à l'action d'un courant électrique convenablement réglé et à interruptions suffisamment fréquentes, cette partie, désormais isolée des cellules ganglionnaires, petits centres nerveux auxquels on attribue généralement, non-seulement ses contractions, mais encore le rhythme de ces contractions, se remet à battre par des contractions rhythmées semblables à celles de la portion encore en relation avec les cellules ganglionnaires. Il résulte de cette expérience que non-seulement les fibres cardiaques sont douées de la propriété de se contracter comme les fibres musculaires de la vie animale, sous une influence extérieure, autre que l'excita-

tion qu'elles reçoivent des centres nerveux, mais, de plus, qu'elles sont douées par elles-mêmes du rhythme. Nous aurons à revenir sur cette question, étudiée avec de grands détails par le docteur Bowditch, professeur de physiologie à l'*Harvard-University*, de Boston, quand nous traiterons du cœur comme organe propulseur de la circulation.

Mais, si les fibres cardiaques sont douées de la contractilité rhythmée, il devait être probable que les fibres musculaires de la vie animale, dont la structure est, nous l'avons dit, identique, sont douées d'une propriété identique aussi, ou au moins analogue. C'est ce qu'en a conclu Ranvier, et l'expérience lui a encore donné raison. Tout le monde sait que les muscles encore vivants d'un animal récemment tué, *palpitent*, comme on dit ordinairement. Ces palpitations sur lesquelles Brown-Sequard a jadis appelé incidemment l'attention des physiologistes, sont, en somme, des contractions et des décontractions alternatives comparables aux systoles et diastoles successives du muscle cardiaque séparé des cellules ganglionnaires. En effet, Ranvier, en insérant le muscle gastrocnémien d'une grenouille dans un petit appareil myographe ou cardiographe en rapport avec un appareil enregistreur, a constaté qu'un courant électrique faible, mais à interruptions fréquentes et régulières, détermine dans ce muscle des contractions successives suivies de décontractions qui se traduisent sur le cylindre enregistreur par l'inscription d'une courbe sinueuse et irrégulière; cette courbe, sans être identique, tant s'en faut, à celle que fournit la pointe du cœur dans les mêmes circonstances, en est au moins l'homologue et prouve nettement dans les fibres musculaires de la vie animale la faculté de contractions et de décontractions autonomes qui constituent une sorte de rhythme irrégulier. — Il est à remarquer toutefois que les fibres des muscles de la vie animale sont beaucoup plus sensibles à l'excitation électrique que celles du cœur, c'est-à-dire que pour obtenir des effets analogues sur les deux espèces de muscles, il faut employer des courants beaucoup plus faibles quand on opère sur les premiers que sur les seconds.

Mais un caractère bien saillant des fibres anastomotiques du cœur consiste en ce qu'elles sont formées d'éléments que l'on peut considérer comme des cellules soudées bout à bout. Dans chaque élément est un noyau et quelquefois deux. On peut isoler ces éléments par le procédé de Weismann, qui les a reconnus, en faisant macérer un petit fragment de cœur, particulièrement du cœur de la grenouille ou du triton, dans la potasse à 40 p. 100. On obtient alors, par la dissociation, des cellules allongées, ressemblant complétement, quant à la forme, à des fibres lisses, mais qui présentent la double striation, avec un noyau central, ovalaire, entouré d'une zone de substance réfringente. Ces cellules striées semblent donc être intermédiaires entre les fibres lisses et les fibres striées volontaires.



Fig. 81. — Fibres anastomosées du muscle cardiaque et lignes de soudure en escalier des cellules musculaires.

Sans isoler complétement les cellules musculaires, on peut facilement mettre en évidence leurs lignes de suture, soit par l'imprégnation au nitrate d'argent (Eberth), soit par la macé-

ration dans l'acide chrômique très-dilué ; mais on peut très-aisément en constater l'existence sur des préparations très-faiblement colorées au picrocarminate. On constate en beaucoup de points sur la longueur d'un faisceau, des lignes transversales très-réfringentes, en zigzag ou *en escalier* prouvant que les différents cylindres d'un même faisceau ne se terminent pas tous exactement au même niveau. Lorsque les noyaux sont suffisamment colorés et qu'on les aperçoit, ils peuvent guider dans la recherche des lignes de suture, car bien qu'une même cellule puisse contenir deux noyaux, c'est ordinairement vers le milieu de l'espace qui sépare deux noyaux, qu'on trouvera une ligne de suture. Souvent aussi on en trouve au niveau d'une bifurcation ou d'une anastomose comme si la branche anastomotique ou la ramification résultait d'une cellule qui s'est soudée latéralement sur une autre.

L'épaisseur de cette ligne réfringente montre l'existence en ce point d'un ciment intercellulaire dont l'expérience de Weismann prouve la solubilité dans la potasse caustique.

Les faisceaux primitifs cardiaques sont d'ailleurs, comme ceux des muscles volontaires, réunis par des lames conjonctives en faisceaux secondaires, et ceux-ci par des plans plus épais en faisceaux tertiaires, etc. On peut en suivre facilement la distribution sur des coupes transversales.

Les éléments musculaires du cœur gauche sont plus volumineux que ceux du cœur droit, et ceux du ventricule plus que ceux de l'oreillette du même côté.

Fibres de Purkinje. — Lorsqu'on examine, même à l'œil nu, l'endocarde d'un cœur de cheval ou de ruminant, et particulièment du mouton, on voit se détacher sur les cellules graisseuses qui, le plus souvent, doublent l'endocarde, un réseau d'apparence gélatineuse. Ce réseau est formé par les *fibres de Purkinje.*

Si l'on arrache un lambeau d'endocarde, ces fibres restent adhérentes à sa face profonde avec quelques fibres musculaires. Examinées au microscope, elles se révèlent sous l'aspect d'un cordon réticulé formé de grosses cellules polyédriques, transparentes, au centre desquelles on voit quel-

quefois un, mais le plus souvent deux noyaux ovoïdes, un peu irréguliers, possédant un nucléole, et entourés d'une zone assez considérable de substance granuleuse, très-facile à distinguer au milieu du corps cellulaire ordinairement transparent. Les cordons qui s'anastomosent en larges mailles sont formés, soit d'une seule, soit de plusieurs rangées de cellules. Ils sont festonnés sur les bords, parce que les cellules sont notablement bombées et ne sont en rapport les unes avec les autres que par les convexités adossées de leurs parois.

Mais si l'on examine avec soin la périphérie de chaque cellule, on voit qu'elle présente sur les bords une striation longitudinale et transversale exactement semblable à celle des fibres cardiaques. Chaque cellule paraît donc bomber dans une maille d'un réseau fibrillaire strié qui occuperait l'espace laissé entre les cellules par la convexité de leurs parois.

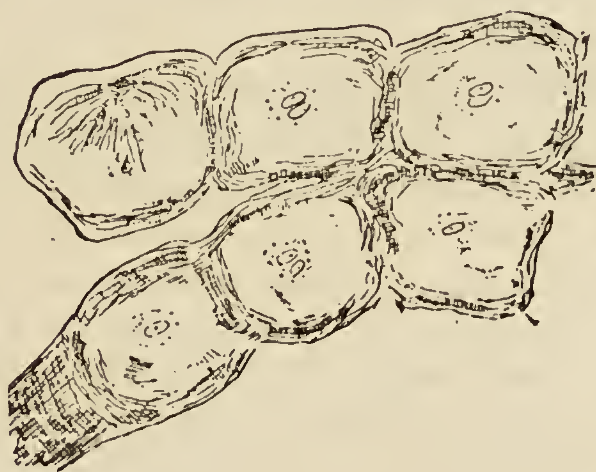


Fig. 82. — Fibres de Purkinje.

Telle est en effet l'hypothèse de Lehnert. Cependant, si l'on suit un de ces cordons cellulaires on le voit souvent aboutir à une fibre cardiaque, ou mieux se continuer en une fibre cardiaque; c'est ce qui paraît évident à un examen attentif, par exemple, sur le cœur du mouton, où les cellules de Purkinje mesurent jusqu'à 60 μ de diamètre et sont relativement faciles à étudier. De plus, cette même fibre cardiaque, qui parfois

s'en va plonger dans le muscle en se ramifiant, repasse souvent, soit en totalité, soit par une de ses branches, à l'état de fibre de Purkinje (V. Hessling). Il paraît bien qu'il y a continuité entre les deux espèces de fibres, car dans la fibre de Purkinje, ordinairement constituée alors par une seule rangée de cellules bout à bout, on voit les cellules diminuer en largeur et augmenter en longueur, à mesure qu'elles se rapprochent de la fibre cardiaque, si bien qu'il est parfois assez difficile de préciser exactement le point où cesse la fibre de Purkinje et où commence le faisceau musculaire.

Enfin, il ne paraît pas que le réseau fibrillaire strié soit indépendant du cordon cellulaire et appliqué sur lui, car si l'on désagrége le cordon par la potasse à 40 pour 100, on voit les cellules se séparer, rouler dans la préparation, mais en présentant toujours sur leur périphérie, aussi bien sur le bord qui était libre que sur ceux qui étaient en rapport avec les cellules voisines une bordure striée qui semble bien appartenir à leur surface et non y être appliquée.

Il paraît difficile d'admettre que le réseau fibrillaire strié, supposé appliqué sur le cordon cellulaire, se soit brisé exactement, suivant le contour des cellules, sans qu'aucun débris en soit d'ailleurs séparé. Cela est d'autant plus difficile, bien que ce soit l'opinion de quelques histologistes, que les fibres musculaires comprises dans les préparations n'ont subi de la part du réactif aucune espèce de rupture ni d'altération.

Il semble bien plus probable, au contraire, que les cellules elles-mêmes sont striées sur leurs bords — et si l'on se rappelle que les cellules embryonnaires musculo-formatives des muscles striés commencent à manifester la striation sur leur périphérie, on pourra admettre sans difficulté cette dernière hypothèse, et penser logiquement que les cellules de Purkinje sont des cellules embryonnaires des fibres cardiaques en voie de se transformer en fibres ou arrêtées dans leur développement.

Ajoutons que les cordons de Purkinje sont recouverts par une gaîne conjonctive quelquefois très-mince mais souvent aussi assez épaisse, qui se poursuit jusque sur les origines des

fibres cardiaques issues de ces cordons, mais qui les abandonne bientôt, alors qu'elles paraissent complétement formées à l'état de fibres musculaires.

On trouve déjà les fibres de Purkinje sur des embryons de ruminants longs de quelques centimètres, mais nous ne pensons pas qu'on les ait trouvées sur l'homme.

Endocarde, Péricarde. — Nerfs et vaisseaux du cœur. — Le cœur est tapissé à l'intérieur et à l'extérieur par une membrane conjonctive formée de faisceaux connectifs recouverts de cellules conjonctives, de fibres élastiques et de fibres musculaires lisses; c'est l'endocarde à l'intérieur du cœur et le péricarde à l'extérieur, l'un et l'autre sont tapissés par un endothélium.

Les nerfs du cœur sont très-nombreux, ainsi que les vaisseaux sanguins qui pénètrent dans toute l'épaisseur du tissu entre les mailles des fibres musculaires. De plus les fibres et les vaisseaux sont plongés dans des espaces lymphatiques extrêmement nombreux. Nous aurons à revenir sur toutes ces questions en étudiant le cœur non plus comme muscle mais comme organe propulseur de la circulation sanguine (Voir *Appareil de la circulation*).

PRÉPARATION

La préparation des fibres musculaires n'est pas très-difficile, néanmoins elle doit être faite avec précaution, notamment en dissociant les faisceaux. Pendant cette opération, il faut toujours procéder dans le même sens, en appliquant les aiguilles à la même extrémité du fragment de muscle. En divisant celui-ci de plus en plus, on arrive à isoler un certain nombre de faisceaux primitifs et des groupes de quelques faisceaux sur lesquels les observations peuvent se faire presqu'aussi facilement que sur les faisceaux isolés.

Si l'on ajoute une goutte d'eau aux fibres dissociées, on observera le sarcolemme soulevé par l'eau qui pénètre dans la substance musculaire, et, avec l'acide acétique qui gonfle cette substance et la rend demi-transparente, on la verra s'échapper hors du sarcolemme qui l'étrangle. On peut traiter d'abord

par le sulfate de rosaniline qui colore le sarcolemme et rend visibles tous ses plis.

En dissociant les fibres dans le picrocarminate, et les examinant ensuite dans la glycérine, on observera les détails de la striation et les noyaux qui seront surtout visibles au bout de quelques jours. Il est difficile d'observer les noyaux sur les fibres vivantes sans coloration ni réactifs ; il faut pour cela employer d'excellents objectifs (n° 10, immersion, de Hartnack et Prazmowski).

Pour bien reconnaître la disposition des stries, des disques et des bandes qui les constituent, il faut étudier un muscle en extension dont on peut prendre des fibrilles sur un animal récemment sacrifié et qu'on tend sur la lame de verre avant de les séparer complétement du muscle. On peut encore opérer sur une grenouille qu'on plonge pendant un quart d'heure dans de l'eau à 55° d'où on la retire à l'état de rigidité cadavérique. La dissociation se fait alors sans difficulté, même en agitant un fragment de muscle dans l'eau. On peut colorer par la picrocarminate ou l'hématoxyline et obtenir ainsi de très-bonnes préparations.

Quant à la différence à observer entre les muscles striés à contraction brusque (muscles blancs du lapin) et les muscles striés à contraction lente (muscles rouges du lapin), elle est mise en évidence par l'étude des fibres en extension, prises sur le même animal, par exemple sur le grand adducteur (muscle blanc) et le demi-tendineux (muscle rouge) d'un lapin.

Quant à la décomposition discoïde, nous savons qu'elle est facilitée par une macération de quelques jours dans les acides faibles, acétique ou chlorhydrique à 1 pour 100 à 200, les chlorures de sodium ou de baryum, les carbonates alcalins, le suc gastrique, les réactifs ramollissants et surtout par la congélation ; tandis que la décomposition en fibrilles longitudinales est déterminée par l'alcool, l'acide chromique et les bichromates faibles, l'acide picrique et les réactifs durcissants.

Les animaux dont les muscles présentent le plus de facilité pour l'étude complète des stries sont les insectes ; nous avons

cité l'hydrophile, mais la plupart des Coléoptères sont dans le même cas, et même la mouche domestique.

Les muscles moteurs des ailes, ordinairement colorés en jaune, sont composés de faisceaux sans sarcolemme, encombrés de trachées. On dissocie rapidement des faisceaux pris sur un animal vivant dans un peu de plasma, et les gros insectes en fournissent suffisamment, ou en les humectant avec l'haleine, ce qui permet de les tendre sur la lame de verre, et on colore avec une goutte de picrocarminate ou mieux d'hématoxyline. Après l'action de l'hématoxyline, on lave et on examine dans la glycérine. On reconnaît que les disques épais et minces sont colorés, tandis que les bandes claires ne le sont pas. On peut même observer la strie claire de Hensen, au milieu du disque épais, surtout si l'on a fait séjourner les faisceaux pendant 24 heures dans l'alcool au tiers avant de les dissocier.

Les fibres des ailes des petits insectes, comme la mouche domestique, paraissent d'abord comme une série de granulations; ce n'est qu'après un certain temps que les stries apparaissent avec plus ou moins de netteté.

On obtient de très-belles préparations des fibres tendues des Coléoptères, par exemple de l'hydrophile, en incisant un petit fragment de la carapace sur le thorax de l'insecte et en le soulevant avec des pinces fines, ce qui tend les fibres musculaires insérées sur ce fragment; on dépose alors dans la plaie une goutte d'alcool absolu qui fixe les éléments dans leur forme actuelle. Au bout de quelques minutes, on détache des faisceaux que l'on dissocie sur une lame de verre, en les humectant avec l'haleine, et on ajoute une goutte d'hématoxyline alcoolique. On peut, d'ailleurs, dissocier dans l'hématoxyline. On lave de manière à enlever l'excès de matière colorante, et l'on peut examiner dans la glycérine; ou bien, on lave avec de l'alcool ordinaire, puis de l'alcool absolu. Enfin, on remplace l'alcool par l'essence de térébenthine ou de girofle, et l'on monte dans le baume.

Les fibres des pattes se préparent de même, soit en enlevant une patte à l'animal vivant et la plongeant dans l'alcool absolu, soit en pratiquant dans le fémur une injection d'alcool avec

une seringue hypodermique, après avoir fléchi le tibia sur le fémur pour tendre les faisceaux musculaires. On dissocie ces fibres en les séparant du tendon chitineux interne, sur lequel elles s'insèrent, et on opère comme précédemment. Ce procédé est le meilleur pour observer la strie de Hensen.

Au lieu d'alcool on peut employer l'acide osmique en solution à 1 pour 100.

Pour étudier les disques accessoires, M. Ranvier conseille d'opérer sur la blatte orientale, le *cafard* des boulangers, dont le jabot est doublé d'une couche musculaire très-mince. Les éléments musculaires de ces fibres présentent d'une manière évidente la subdivision du disque épais en disques accessoires, et pour les observer, il suffit de pratiquer dans l'abdomen de l'insecte une injection d'acide osmique à 2 pour 100, qui fixe instantanément les faisceaux musculaires. Après 10 ou 15 minutes on dissèque l'animal sous l'eau, on ouvre le jabot, et on en étale la membrane sur une lame de verre où l'on peut la colorer au picrocarminate, ou mieux à l'hématoxyline, par les procédés ordinaires, après avoir enlevé la plus grande partie des couches internes de l'organe. On reconnaît ainsi que le disque épais se compose de 5 pièces, dont deux terminales plus réfringentes et trois médianes moins marquées.

Les mêmes préparations peuvent servir pour l'étude des éléments musculaires à la lumière polarisée, dont les effets sont beaucoup plus nets, quand on opère sur des fibres fortement tendues.

Nous avons indiqué déjà comment on peut fixer instantanément les fibres musculaires tendues, tétanisées et tendues sous l'influence d'un courant d'induction, en plaçant le membre de l'animal dans une position qui mette le muscle en extension et en pratiquant une injection intertitielle d'acide osmique à 1 pour 100; et, si l'on veut étudier la fibre tétanisée, en mettant d'une part, le muscle en rapport avec l'un des pôles de l'appareil d'induction et en fixant, d'autre part, l'autre électrode à la canule d'or de la seringue contenant l'acide osmique. Au moment où l'on place la canule dans le muscle, le courant

passe, les fibres entrent en tétanos si les interruptions du courant sont assez fréquentes, et, si l'on pousse l'injection au même moment les fibres sont fixées. On peut alors enlever avec des ciseaux courbes de petits fragments de muscle dans la partie que l'injection a atteinte et brunie, et les étudier après les avoir dissociés dans l'eau et colorés au besoin par l'hématoxyline et montés dans la glycérine ou dans le baume. (Dans ce dernier cas, il faut toujours déshydrater la préparation par l'alcool et l'essence.)

Pour observer les rapports des faisceaux primitifs entre eux et la position des noyaux (champs de Cohnheim), et les rapports des faisceaux secondaires, tertiaires, etc., avec le tissu conjonctif interfasciculaire (*perimysium*), il faut pratiquer des coupes minces sur un fragment de muscle desséché rapidement et tendu. Le couturier de la grenouille dont les fibres sont parallèles, se prête facilement à cette opération On fait les coupes en insérant le muscle sec dans une rainure d'un bâton de moelle de sureau ou d'un bouchon de liége, on les reçoit dans l'eau où elles se gonflent et on les colore par le picrocarminate pour les étudier dans la glycérine.

Il y a beaucoup d'autres procédés qui amènent au même résultat mais nous préférons le durcissement par l'acide osmique (24 heures), puis la gomme et l'alcool.

Quant au mode d'union des muscles avec les tendons, nous avons indiqué, en traitant cette question, les procédés les plus convenables pour les étudier : l'action de la potasse à 40 pour 100 sur des faisceaux délicatement dissociés du gastrocnémien de la grenouille non séparés de leur insertion sur le petit tendon qui les attache à l'aponévrose du tendon d'Achille.

On les tend en fixant leur extrémité supérieure sur la lame de verre, ce qui se fait en appuyant le doigt sur cette extrémité qui se dessèche à moitié et adhère au verre ; on peut alors exercer par l'autre extrémité, sur le tendon, une traction suffisante. Puis on fait agir la potasse sous la lamelle pendant qu'on observe son action sous un grossissement de 2 à 300 diamètres.

On peut encore employer les faisceaux pris sur le même muscle d'une grenouille plongée pendant 15 à 20 minutes dans un litre d'eau à 55°. Il faut alors pratiquer la dissociation des faisceaux avec la plus grande précaution, parce que le tissu conjonctif est devenu très-mou. On examine alors dans le sérum iodé qui colore en brun le plasma glycogéné interposé dans l'enveloppe sarcolemmique entre la cupule tendineuse et la substance musculaire qui s'en est détachée et s'est rétractée.

Quant aux fibres musculaires lisses, on peut les étudier sur la paroi de l'intestin grêle d'un animal, sur la vessie d'un enfant, ou tout simplement, comme le conseille M. Pouchet, sur le *gras double* des tripiers. On peut faire macérer le tissu pendant 24 heures dans l'acide nitrique à 15 ou 20 pour 100 (Kölliker), et le dissocier ensuite dans l'eau. Mais, les préparations ainsi faites se colorent difficilement ; il vaut mieux employer la potasse à 40 pour 100, ou l'acide chrômique (1 p. 10,000), les bichrômates (1 p. 1000), l'alcool au tiers ou le sérum iodé.

Une bonne méthode, qui a l'avantage de présenter les fibres cellules bien tendues, consiste à gonfler une partie de l'intestin d'un animal comprise entre deux ligatures, par une injection de bichrômate d'ammoniaque ou d'alcool. On enlève l'anse ainsi limitée et on la plonge pendant deux jours dans le réactif. Après quoi, on dissocie des lambeaux de la paroi, on les lave et les colore par le carmin, le picrocarminate, l'hématoxyline, le rouge ou le bleu d'aniline. Ces procédés permettent de reconnaître le nucléole que le traitement par l'acide nitrique dissimule au milieu du noyau devenu granuleux.

La vessie de la grenouille est très-commode pour étudier le tissu musculaire lisse, *in situ*. Après macération de plusieurs heures dans l'alcool au tiers, la vessie est ouverte dans l'eau, brossée au pinceau pour enlever l'épithélium, tendue par la demi-dissociation sur une lame de verre, arrosée d'hématoxyline, puis plongé dans cette même matière colorante pendant au moins 12 heures. Après quoi, on la lave, la

brosse au pinceau et la monte dans la glycérine ou le baume. (Ranvier).

L'imprégnation au nitrate d'argent à 1 p. 500, soit dans une anse intestinale, soit dans une veine, montre très-bien les rapports des fibres cellules entre elles, en raison de la ligne noire qui dessine leurs contours. On obtient de belles préparations avec la veine jugulaire du lapin, en l'insufflant, après avoir enlevé le liquide de l'injection, et la faisant sécher. On monte de petits fragments de la paroi dans le baume après avoir fait agir l'essence de girofle (Ranvier).

On pratique des coupes transversales sur le tissu musculaire lisse en le durcissant par l'alcool, ou par les bichromates, la gomme et l'alcool. On colore par le picrocarminate.

Les fibres cardiaques sont plus difficiles à étudier en raison de leurs anastomoses et de l'absence de sarcolemme qui rend le tissu très-friable; aussi la dissociation en est-elle assez laborieuse. La cloison intermusculaire du cœur du lapin peut être dissocié dans le picrocarminate ou bien une tranche très-mince enlevée sous l'endocarde du ventricule droit dans le cœur du mouton. Le cœur de la grenouille, qui a la texture d'une éponge, se prête aussi assez bien à cette opération. Ranvier conseille d'en chasser le sang par une des aortes à l'aide d'une injection de chlorure de sodium à 1/2 pour 100. Quand le sang est chassé, on lie l'autre aorte et les veines, puis on remplit le cœur avec l'injection poussée doucement. On lie et on sépare l'organe pour le plonger dans l'acide osmique à 1 pour 100 qui fixe les fibres en extension. Au bout d'un quart d'heure, on enlève de petits fragments du cœur que l'on place dans le picrocarminate pendant 24 heures.

Un séjour de quelques heures dans l'acide chlorhydrique à 15 pour 100 facilite aussi notablement la dissociation.

Lorsqu'on arrache avec une pince ou avec les ongles l'endocarde d'un cœur de mouton, on enlève avec les filaments de Purkinje un plus ou moins grand nombre de fibres musculaires dont la dissociation nous a toujours paru relativement

facile, on les tend par la demi-dessiccation et les colore par le picrocarminate. Il est très-rare que, sur ces préparations, on ne reconnaisse pas les anastomoses des fibres et les lignes de soudure des cellules musculaires. Ces lignes peuvent se distinguer, par leur réfringence, sur des fibres cardiaques traitées pendant 24 heures par l'acide chrômique à 2 pour 10,000, puis colorées par le picrocarminate après lavage dans l'eau distillée et examinées dans la glycérine. On peut encore imprégner au nitrate d'argent à 1 pour 500 les fibres adhérentes à la face profonde de l'endocarde arraché.

Ces mêmes lambeaux étalés sur une lame de verre, la face profonde en dessus, et débarrassés de la majeure partie des fibres musculaires, montrent très-facilement les fibres de Purkinje.

On peut d'ailleurs séparer plus ou moins complétement le réseau de Purkinje de l'endocarde, par la macération pendant 24 heures dans l'alcool au tiers, et le colorer par le picrocarminate que nous préférons à l'hématoxyline.

Quant à la séparation des cellules musculaires cardiaques à leurs lignes de soudure, par la potasse à 40 pour 100, elle ne réussit le plus souvent que sur les Batraciens et notamment la grenouille, la salamandre et le triton.

La potasse à 40 pour 100 isole aussi au bout d'un temps plus ou moins long les cellules de Purkinje du mouton.

Toutes les coupes transversales se font facilement sur un organe desséché rapidement ou durci par les procédés ordinaires.

CHAPITRE VIII

LES VAISSEAUX

I

CLASSIFICATION DES VAISSEAUX

Il y a chez l'homme et chez tous les vertébrés un double appareil circulatoire, dans l'un circule le sang, dans l'autre, la lymphe.

La circulation sanguine se fait elle-même dans un double système : le *système artériel* parcouru par le sang oxygéné que le cœur y lance, et le *système veineux* parcouru par le sang désoxygéné qui fait retour au cœur. Ces deux systèmes sont reliés, d'une part, par les *capillaires* où s'opère la désoxygénation du sang, et de l'autre, par le cœur qui en envoyant le sang veineux aux poumons en opère la réoxygénation.

Nous aurons donc à examiner les artères, les veines et les capillaires.

La circulation lymphatique se produit dans des *vaisseaux*, des *sinus* et des *espaces lymphatiques ;* mais elle a lieu, en réalité, partout dans la profondeur des tissus qui sont tous en contact plus ou moins immédiat avec la lymphe.

Nous n'avons à nous occuper, pour le moment, que de la composition histologique du tissu qui forme les vaisseaux ; nous examinerons le rôle et le mode d'action de ces vaisseaux, ainsi que de certaines glandes ou ganglions, en traitant de l'appareil de la circulation.

II

ARTÈRES

D'une manière générale, on peut dire que la paroi des artères se compose de quatre couches ou tuniques superposées, qui,

lorsqu'on passe d'une artère à l'autre, se modifient plus ou moins dans leur structure mais conservent, en grande partie du moins, leur aspect propre.

1° La première couche, la plus interne, est constituée par un endothélium formé de cellules aplaties, irrégulièrement polygonales, et allongées dans le sens de l'axe du vaisseau. — En raison de son altérabilité, cette couche ne se retrouve que dans les vaisseaux d'animaux récemment sacrifiés. On peut la mettre en évidence par l'imprégnation au nitrate d'argent. Elle est, en réalité, la continuation de l'endothélium qui tapisse la membrane interne du cœur, l'endocarde.

2° Au-dessous de cette couche règne une *tunique*, dite *fibreuse*. Dans les grosses artères, l'aorte, les carotides, le tronc de l'artère pulmonaire, cette tunique prend une grande importance, et l'on peut y reconnaître plusieurs strates distincts. A la partie la plus interne, la couche sur laquelle est placé l'endothélium est formée d'une substance conjonctive fibrillaire et marquée de fines stries dont la direction générale est longitudinale. — Sur une préparation colorée, on reconnaît entre ces fibrilles des noyaux aplatis, semblables à ceux des cellules connectives, et qui appartiennent à des cellules ramifiées et anastomosées les unes aux autres dans l'intervalle des fibrilles où elles constituent des figures très-compliquées. — Dans cette couche règne un très-fin réseau de fibres élastiques longitudinales, mais dans la couche située en-dessous, les fibres élastiques sont beaucoup moins serrées et prennent une direction généralement transversale; elles émanent de la partie profonde de la couche fibrillaire supérieure, et forment un réseau feutré en longueur et en profondeur dans lequel s'enlacent en grand nombre des faisceaux conjonctifs, accompagnés de cellules conjonctives. Puis, toutes ces fibres élastiques viennent, pour ainsi dire, se réunir en une lame présentant des trous plus ou moins nombreux, formant une membrane fenêtrée, ou *lame élastique interne*, à la surface de laquelle on voit souvent les fibres élastiques s'accoler en dessinant des broderies capricieuses. Cette lame élastique interne constitue la limite entre la tunique élastique et la couche sous-jacente.

3° Au-dessous de la tunique élastique est la *tunique musculeuse* dont l'épaisseur est considérable dans les grosses artères et qui se compose de fibres musculaires lisses disposées, transversalement à l'axe du vaisseau. Ces fibres musculaires occupent les mailles d'un réseau élastique assez semblable à celui que nous avons décrit à la partie profonde de la tunique précédente. La direction de ces fibres élastiques est généralement transversale, et dans les intervalles sont encore des faisceaux connectifs, plus serrés à la partie superficielle et à la partie profonde de la tunique musculaire qu'à la région moyenne. A différentes profondeurs dans cette couche les fibres élastiques vont se réunir ou s'insérer sur des lames élastiques diversement fenêtrées, à la surface desquelles elles s'accolent souvent en formant des broderies saillantes très-capricieuses. Ces lames segmentent, pour ainsi dire, la tunique musculaire en un certain nombre de couches séparées ainsi par des plans élastiques.

Une dernière lame, moins bien caractérisée et qui paraît plutôt représenter un tassement des fibres élastiques ou un réseau plus aplati et à mailles plus serrées qu'une véritable lame, sépare la tunique musculeuse de la tunique externe.

4° La tunique la plus externe, tunique *conjonctive* ou *adventice* est surtout constituée par un feutrage épais de faisceaux connectifs mêlés encore de grosses fibres élastiques. On peut y trouver quelques fibres musculaires lisses. Enfin, il faut noter que c'est, chez l'homme du moins, dans cette tunique externe que circulent les vaisseaux sanguins et lymphatiques destinés à la nutrition de la paroi artérielle (*vasa vasorum*) (1).

En résumé, dans les plus grosses artères, par exemple, dans l'aorte, en procédant, sur la paroi, de l'intérieur du vaisseau à l'extérieur, on trouve, sans compter l'endothélium, trois tuniques principales :

1° Tunique interne, *fibreuse*, connective à fibres longitudinales à la surface, transversales à la partie profonde, où elles forment un réseau dans lequel se mêlent des faisceaux conjonc-

(1) Excepté dans des cas pathologiques où les vaisseaux pénètrent dans la tunique moyenne (Cornil et Ranvier).

tifs fins, émanés de la tunique moyenne, et vont s'insérer à la *lame élastique interne*, qui limite cette tunique dans sa profondeur. (Entre les fibres élastiques et sur les faisceaux conjonctifs de cette tunique sont des noyaux aplatis appartenant à des cellules plates de nature connective.)

2° Tunique moyenne, *musculeuse*, formée de fibres musculaires lisses (qui, dans l'aorte, ressemblent un peu à certaines fibres cardiaques, et montrent une vague striation longitudinale mais non transversale). Ces fibres, à direction transversale, occupent les mailles d'un réseau de fibres élastiques et de faisceaux conjonctifs. Ce réseau élastique est segmenté à diverses profondeurs par plusieurs lames élastiques plus ou moins fenêtrées, à la surface desquelles s'insèrent les fibres élastiques des couches situées au-dessus et au-dessous. A la limite, ces fibres se resserrent pour constituer une dernière lame incomplète qui sépare la tunique musculeuse de la tunique externe.

3° Tunique externe, *conjonctive* ou *adventice*, formée de faisceaux conjonctifs et de grosses fibres élastiques en réseau plus lâche. Cette tunique se confond avec le tissu conjonctif ambiant dans lequel circule l'artère. C'est dans son épaisseur que cheminent les vaisseaux de la paroi artérielle.

Ajoutons que cette constitution remarquable du tissu des parois vasculaires lui a fait donner, par M. G. Pouchet, le nom de *tissu artériel* ou tissu *musculo-élastique*.

A mesure que l'on examine des artères de plus faible calibre, on voit la composition des couches qui forment leur paroi se modifier en se simplifiant.

Dans les artères humérale et crurale, la tunique interne, élastique, commence à perdre de son importance relativement à la tunique moyenne, musculaire. Ce caractère est encore plus tranché dans les artères fémorale et radiale ; la tunique interne se réduit à une couche connective fibrillaire, située longitudinalement, contenant des cellules conjonctives et un fin réseau de fibres élastiques. Cet ensemble représente la première couche de la tunique interne que nous avons décrite dans l'aorte ; la lame élastique interne sépare cette couche de la tunique moyenne formée par des fibres musculaires lisses,

transversales, réparties par groupes entre des faisceaux connectifs contenant des cellules connectives et accompagnés de fibres élastiques. Celles-ci émanent de la lame élastique interne et se continuent avec celles de la tunique externe. Cette dernière est composée d'un réseau de faisceaux conjonctifs à direction généralement longitudinale, entremêlés de grosses fibres élastiques dont le réseau se condense au voisinage de la tunique moyenne. Ainsi, la tunique musculaire n'est plus segmentée par des plans ou lames élastiques.

Dans les artères plus petites encore, la même modification s'accentue davantage; toutes les tuniques diminuent d'épaisseur, si bien que sur les artérioles on ne trouve plus, au-dessous de l'épithélium, qu'un liseré représentant la tunique interne et une tunique moyenne réduite à une seule couche de fibres musculaires lisses. On peut alors reconnaître, à la disposition des noyaux, sur des préparations colorées au picrocarminate, que les fibres-cellules sont disposées en hélice autour du vaisseau. Cette disposition existe aussi sur des artères d'un certain calibre et même, sans doute, sur les grosses ; mais en raison



Fig. 83. — Endothélium d'une artériole imprégnée au nitrate d'argent.
Les lignes transversales représentent les contours des fibres musculaires sous-jacentes.

du nombre des couches musculaires, elle est moins facile à reconnaître (1).

(1) M. Ranvier a fait remarquer qu'en raison de cette disposition en hélice, les noyaux des fibres tranchées par une coupe longitudinale se présentent par séries régulières, alternativement d'un côté et de l'autre du vaisseau, ce dont il est facile de se rendre compte.

La forme des cellules endothéliales se modifie aussi notablement; celles-ci s'allongent dans le sens du vaisseau à mesure que le calibre de ce vaisseau devient plus petit. Les imprégnations au nitrate d'argent permettent de se rendre facilement compte de la forme des cellules endothéliales ainsi que de la disposition du plan musculaire transversal situé au-dessous. Les contours des cellules endothéliales sont dessinés en noir et présentent ordinairement quelques petits épaississements dus à des dépôts accidentels d'albuminate d'argent.

A un plan un peu plus profond, on peut voir les lignes transversales représentant les contours des fibres-cellules de la couche sous-jacente, imprégnée à travers la mince tunique interne de l'artériole.

III

VEINES

La composition de la paroi des veines ressemble d'une manière générale à celle de la paroi des artères, mais la séparation en couches distinctes est beaucoup moins nette, l'élément musculaire y est dans tous les cas beaucoup moins abondant, à ce point que sur certaines veines de gros calibre, comme les jugulaires, les fibres-cellules ont souvent passé inaperçues, et que sur la veine cave supérieure, sur la veine cave inférieure, dans son parcours au-dessus du diaphragme, elles paraissent ne pas exister.

La tunique interne conjonctive est toujours mince, on y reconnaît des cellules connectives, et des fibres élastiques fines dont le réseau se resserre vers la limite de cette couche dans les grosses veines, rappelant ainsi la lame élastique interne des artères, puis se relâche, en même temps que les fibres deviennent plus grosses et embrassent des groupes de fibres musculaires lisses accompagnées de faisceaux conjonctifs. Les fibres musculaires sont transversales mais disposées, comme nous l'avons dit, par groupes peu réguliers et parfois notablement obliques. Elles deviennent de plus en plus rares à mesure que l'on se

rapproche des couches externes où domine l'élément conjonctif avec cellules aplaties.

En somme, on peut dire que la paroi des veines ne présente que deux tuniques distinctes, une tunique interne et une tunique externe, formées d'éléments conjonctifs et élastiques dans lesquels les fibres musculaires sont plus ou moins abondantes suivant la veine que l'on considère. Ajoutons que l'on trouve souvent des fibres musculaires à direction longitudinale en dehors des couches transversales ou obliques, par exemple, dans la cave inférieure au-dessous du diaphragme, les veines porte, azygos, hépatique, rénale, etc. — On peut même trouver deux couches de fibres musculaires longitudinales séparées par une couche moyenne de fibres transversales, comme dans les veines iliaque, poplitée, ombilicale et quelques autres. (Eberth).

Quant à l'endothélium qui fait suite à celui de l'endocarde d'une part, et des artères, de l'autre, par l'intermédiaire des capillaires, il présente à peu près l'aspect que nous avons indiqué dans les artères, quoique les cellules soient, en général, moins allongées dans le sens de l'axe sur la veine que sur l'artère correspondante (1). Le diamètre de cette veine est d'ailleurs toujours plus grand que celui de l'artère, et nous savons que les cellules endothéliales sont d'autant plus allongées dans le sens longitudinal que le diamètre des vaisseaux est plus petit. Il paraît donc que le frottement du sang sur les parois vasculaires et la rapidité de son cours exercent une influence sur la forme des cellules qui subissent une sorte de traction ou d'entraînement dans le sens du courant.

On trouve une confirmation de ce fait dans l'examen des replis ou valvules que forme la paroi des veines dans la lumière du vaisseau. Sur la surface supérieure de la valvule, celle qui est en contact avec le courant sanguin, la tunique interne se continue à peu près telle qu'elle est avant la valvule et il

(1) Chez un nouveau-né les cellules endothéliales de l'artère ombilicale mesuraient 40-50 μ de long sur 10-15 μ de large, tandis que celles de la veine ombilicale n'avaient que 30-35 μ de long sur 20 à 25 μ de large. (Legros.)

en est de même de l'endothélium ; mais sur la surface de la valvule qui est rabattue contre la paroi de la veine, la tunique interne est plus mince, et les cellules endothéliales s'élargissent en travers jusqu'à présenter au fond du repli ou sinus valvulaire leur grand axe transversalement.

Entre ces deux lames formées par la tunique interne réfléchie, la tunique externe s'introduit sous forme de faisceaux conjonctifs et de fibres élastiques présentant souvent quelques fibres musculaires transversales à la base de la valvule.

IV

CAPILLAIRES

Les vaisseaux capillaires qui établissent la communication entre les artères et les veines peuvent être considérés comme un prolongement des artérioles qui auraient perdu peu à peu leur tunique musculaire et dont la paroi serait réduite à l'endothélium. Il est, en effet, difficile de préciser, autrement que par cette simplification dans la structure de la paroi, le point exact où une artériole devient un capillaire. Il est, au contraire, beaucoup plus facile de reconnaître le point où un capillaire devient une veine, car il ne se continue pas positivement avec cette veine, mais il s'y abouche, le diamètre de la veinule étant notablement plus grand immédiatement au delà du point de confluence.

Ch. Robin considère comme des capillaires les vaisseaux sanguins dont la paroi présente des cellules musculaires lisses et des fibres conjonctives, mais dont le diamètre est inférieur à 30 μ. Or, ces vaisseaux ont alors la structure des veines ou des artères, ce sont en réalité des veinules ou des artérioles, et cette classification, établie sur une mesure, en somme, arbitraire, nous paraît au moins inutile ; nous considérerons donc comme des capillaires proprement dits que les vaisseaux dont la structure n'est ni celle des veines ni celle des artères et qui, par exemple, ne présentent pas de fibres musculaires dans la constitution de leur paroi. Certains de ces

vaisseaux n'ont que 6 à 7 μ de diamètre et ont un calibre plus petit que le diamètre d'un globule sanguin.

Cette différence de structure a même fait supposer pendant longtemps que le réseau capillaire constituait un système à part. Mais Hoyer a démontré, le premier (1865), que l'endothélium des artères se continue sans transition dans les capillaires, dont il forme à peu près toute la paroi, et de là dans les veines. Eberth a vérifié l'observation de Hoyer sur un grand nombre d'animaux, et depuis, grâce aux imprégnations par le nitrate d'argent, tous les histologistes ont pu facilement reconnaître l'existence de cet endothélium et sa continuité avec celui des artères, d'une part, et des veines, d'autre part. Cet endothélium est composé d'une couche de cellules plates, allongées dans le sens de l'axe du vaisseau, et munies d'un noyau ovalaire disposé dans le même sens. Ces caractères sont faciles à observer par la coloration au picrocarminate, après imprégnation à l'argent. Les lignes intercellulaires sont le plus souvent sinueuses et accidentées, ce qui paraît provenir de ce que le vaisseau n'a pas été tendu pendant l'imprégnation, car Chrzonszczewski a fait voir qu'en l'empêchant de revenir sur lui-même, à l'aide d'une injection de gélatine au nitrate d'argent, le vaisseau, maintenu pendant l'imprégnation par la solidification de la gélatine, présente des lignes endothéliales intercellulaires sinueuses mais non plus en zigzag.

Le même observateur a démontré aussi que l'endothélium ne forme probablement pas à lui seul toute l'épaisseur de la paroi; car, en certains points, des accidents de préparation ont pu enlever plusieurs cellules endothéliales sans que la paroi vasculaire ait été trouée pour cela. L'endothélium reposerait donc sur une très-fine membrane extérieure, prolongement de la mince lame élastique interne qui apparaît, dans les plus petites artérioles, entre l'endothélium et la première couche de fibres-cellules. La justesse de cette observation peut souvent être reconnue directement par le double contour que présentent les capillaires examinés pendant la vie, par exemple sur les membranes interdigitales ou le poumon de la grenouille.

Aussi, l'existence de cette tunique est-elle généralement reconnue comme très-probable.

Ajoutons, d'ailleurs, que dans leur parcours à travers le tissu conjonctif, les capillaires sont toujours en rapport par leur surface avec des cellules conjonctives plates, comme le sont les faisceaux connectifs.

Lorsqu'on examine l'endothélium d'un capillaire imprégné par l'argent, on remarque souvent de petits espaces compris entre les contours de deux ou trois cellules contiguës et qui ne renferment pas de noyau. Ce sont les *espaces intercalaires* d'Auerbach (1). De plus, on peut y reconnaître aussi, parmi diverses taches noires formées par des dépôts d'argent, d'autres petites taches circulaires à bords noirs et à centre incolore. Ces taches considérées par J. Arnold comme des ouvertures, ont reçu le nom de *stomates* et de *stigmates*. Ce serait par ces trous que s'opérerait la sortie ou *diapédèse* des globules. Cette diapédèse est un fait certain, mais il est non moins certain que l'on ne met pas toujours des stomates en évidence par l'imprégnation à l'argent, surtout quand on a lavé préalablement l'endothélium par une injection d'eau distillée et qu'on emploie non le nitrate, mais des sels d'argent à acide organique, notamment le lactate d'argent (Alferow, 1874).

Il n'est donc pas probable que l'endothélium des capillaires présente *dans tous les cas* des ouvertures préformées pour le passage des globules, mais ces ouvertures résultent bien plutôt du passage des globules blancs. Ce sont des effets et non des causes ; car on trouve ces stomates en bien plus grande quantité sur des vaisseaux qui ont été exposés à l'air pendant la vie, circonstance qui augmente considérablement la diapédèse.

Le phénomène de la diapédèse peut être observé assez facilement en examinant la circulation capillaire sur un animal vivant. L'un des plus beaux spectacles que nous connaissions est celui de la circulation capillaire dans le poumon de la gre-

(1) C'est-à-dire qu'ils ont été d'abord indiqués par Auerbach, mais dans les vaisseaux lymphatiques.

nouille, observation faite pour la première fois par Malpighi. Le poumon de la grenouille est, comme on le sait, un sac dont les minces parois sont occupées par un admirable réseau capillaire, l'hématose se fait à travers les parois vasculaires et l'endothélium qui tapisse la face interne du sac plein d'air. M. Holmgren a inventé, comme nous l'avons dit ailleurs, un petit appareil qui permet de comprimer à volonté entre deux lames de verre le poumon insufflé et amené au dehors de la cavité thoracique. On peut ainsi examiner, même sous de forts grossissements, la circulation capillaire. Nous avons déjà signalé la langue de la grenouille, la membrane interdigitale, la queue des têtards, la vésicule ombilicale des jeunes poissons, le mésentère des petits mammifères, etc., comme permettant d'étudier la circulation sur le vivant, mais pour observer la diapédèse, c'est le mésentère de la grenouille curarisée qui offre le plus de commodité.

On remarque sur le mésentère de la grenouille, amené au dehors sur un porte-objet formé d'une plaque de liége percée d'une fenêtre pour le passage de la lumière, que la circulation, trop rapide pour permettre de voir autre chose qu'un torrent dans lequel on ne peut distinguer les globules, est loin d'être régulière, tantôt accélérée, tantôt ralentie en divers points ; de plus, les artérioles et les veinules se contractent au moment où commence l'action du curare. Quand l'action est complète, les parois musculaires des petits vaisseaux étant paralysées, le diamètre de ceux-ci augmente et la circulation s'y régularise en même temps qu'elle se ralentit. Le torrent sanguin se produit dans l'axe du vaisseau et s'accuse par une ligne rouge, plus claire sur les bords à cause de la moindre épaisseur et de la forme arrondie des globules qui ne déterminent pas une ligne continue à la limite du courant. Contre les parois, règne une ligne incolore formée par le sérum dont on ne peut constater le mouvement. Poiseuille, qui a étudié avec les plus grands soins tous ces phénomènes, appelait cette ligne *couche adhésive*, et la considérait comme étant en repos, ce qui est inexact.

Beaucoup de capillaires ont un diamètre plus petit que celui des globules qui se déforment et s'effilent au passage. En ralen-

tissant la circulation par une compression ménagée, on peut compter les globules qui passent ainsi un à un, et distinguer les globules rouges des globules blancs. Ces derniers conservent leur forme sphérique tant qu'ils sont entraînés dans le courant. Mais si l'on examine la couche adhésive, on reconnaît, (la circulation étant convenablement ralentie) que des globules blancs se sont, pour ainsi dire, échoués contre les parois. S'ils parviennent à s'y maintenir ils ne tardent pas à se déformer et à envoyer des expansions amiboïdes ; au bout de quelque temps, si on les examine avec attention, on les voit s'insinuer très-lentement à travers la paroi, par une ouverture à peu près invisible, mais que l'on reconnaît parce qu'elle les étrangle à leur milieu. On voit ainsi diminuer la partie du globule qui est dans le vaisseau et grossir celle qui est au dehors, laquelle paraît seule, pendant la durée du phénomène, exercer des mouvements amiboïdes. Le globule blanc ou cellule lymphatique passe enfin entièrement dans le tissu conjonctif périvasculaire. La diapédèse des globules blancs est surtout visible quand on a coloré ces globules en injectant préalablement dans le sac lymphatique dorsal un peu d'eau contenant une matière colorée en poudre très-fine, carmin, vermillon, (Cohnheim). Les particules colorées sont englobées par les cellules lymphatiques et emportées par elles dans le torrent circulatoire.

Ce n'est que longtemps après, quatre, cinq, six heures, que la diapédèse des globules rouges est observée, et il paraît probable que ceux-ci, dénués de mouvements amiboïdes, ne peuvent passer qu'en profitant des ouvertures pratiquées par les cellules lymphatiques. (Cohnheim, Ranvier.)

Il ne semble donc pas qu'il y ait dans les vaisseaux de stomates préformés. Les cellules lymphatiques les creusent en attaquant l'endothélium du vaisseau, comme nous les avons vues attaquer celui de la séreuse sur l'épiploon du jeune lapin ou sur le mésentère de la grenouille. L'activité amiboïde de ces cellules peut être attribuée à l'action de l'air et au ralentissement de la circulation qui leur permet de s'arrêter sur les parois dont le contact détermine alors, par excitation mécanique, l'émission des prolongements amibiformes.

Les réseaux formés par les capillaires sont excessivement variés dans leur disposition, suivant la nature de l'organe qu'ils nourrissent. Ils sont, d'ailleurs, d'autant plus riches et serrés que l'organe exerce une fonction plus active. L'aspect de ces réseaux, la dimension et la forme de leurs mailles sont, pour ainsi dire, caractéristiques du tissu ou de l'organe qu'ils irriguent. On peut s'en rendre facilement compte par des injections de gélatine colorée, mais nous aurons l'occasion de décrire avec détails le système capillaire des différents organes en étudiant les appareils auxquels appartiennent ces organes.

V

DÉVELOPPEMENT DES VAISSEAUX

Le développement et l'accroissement des vaisseaux dans l'embryon sont loin d'être connus dans tous leurs détails et avec une certitude suffisante. Remak, His, Klein, Rouget, Golubew, Wissotsky, J. Arnold, Kölliker, Ranvier, Leboucq ont fait sur ce sujet d'importantes recherches que nous allons résumer brièvement. Nous reviendrons, du reste, sur cette question en traitant de la circulation en général.

La première apparition des vaisseaux sanguins, qui apparaissent tous à l'état de capillaires et deviennent artères ou veines par l'adjonction, sur leur paroi, des éléments musculaires conjonctifs et élastiques que nous avons décrits, n'a guère été étudiée que sur l'embryon de poulet.

De la 20e à la 40e heure d'incubation, l'embryon n'est représenté que par une petite tache obscure, en forme de semelle, au milieu de laquelle on aperçoit une ligne longitudinale qui sera le corps même de l'embryon. Autour de la tache obscure règne une zône claire, l'*aire pellucide* ou *transparente*, et autour de celle-ci une zône sombre, l'*aire opaque* ou *aire vasculaire*. C'est dans cette dernière zône que va se développer le riche réseau vasculaire destiné à fournir à l'embryon, par l'intermédiaire des veines omphalo-mésentériques

qui viennent s'y ramifier, les éléments nutritifs puisés dans le vitellus.

En examinant l'aire pellucide avant que le réseau de l'aire vasculaire soit complètement formé, on y reconnaît, après y avoir déposé une goutte de sérum iodé ou d'acide osmique, l'apparition d'un réseau capillaire composé de cellules unies les unes aux autres de manière à former des cordons pleins, ramifiés et anastomosés. Ces cellules renferment des noyaux nombreux, surtout aux points où se produisent les anastomoses. Certaines de ces cellules, sphériques et munies d'un seul noyau, paraissent se séparer, par une sorte de désagrégation, dans l'axe des cordons vasculaires primitifs. En même temps, les cellules de la paroi sécrètent un plasma qui s'accumule dans la cavité axile ainsi creusée et la distend, en refoulant vers la périphérie les cellules pariétales, lesquelles s'aplatissent et constituent la couche endothéliale du vaisseau qui se creuse rapidement. Quant aux cellules différenciées et mises en liberté dans le vaisseau, leur noyau prolifère avec une activité prodigieuse, si bien qu'elles prennent une dimension considérable. Mais, bientôt, elles se désagrègent, tous les noyaux se séparent entourés d'une très-petite couche de protoplasma, et chacun d'eux constitue un globule rouge embryonnaire et nucléé. C'est ainsi que se forment ce qu'on appelle les *îlots sanguins*.

Tout le réseau vasculaire est ainsi rapidement formé de proche en proche, et le sang commence à y circuler sous l'impulsion du cœur ou *punctum saliens*.

Ajoutons que, d'après Ranvier, à qui l'on doit d'excellents travaux sur le développement des vaisseaux, on trouve dans les premiers moments de la formation, sur les bords de l'aire transparente, des cellules formatives de vaisseaux isolées, ou disposées en groupes isolés, et non encore en relation avec le réseau général. Ce qui prouverait que le réseau vasculaire se forme par tronçons isolés qui se réunissent ensuite, c'est-à-dire que la formation du réseau est discontinue et ne résulte pas de l'allongement continu et de la ramification progressive d'un tronçon primitif unique.

Enfin, les cellules formatives du sang sont des cellules formatives des vaisseaux différenciées et transformées en vésicules volumineuses à noyau proliférant.

Quant au processus d'accroissement des vaisseaux, il a été étudié par un grand nombre d'observateurs, notamment par Kölliker, sur la queue transparente du têtard de grenouille, sur la vésicule ombilicale des poissons, sur le grand épiploon du lapin, par Ranvier, et sur différents autres organes.

Kölliker avait remarqué que sur les têtards vivants, bien que l'observation soit gênée par les cellules épithéliales de la peau et par les granulations vitellines qui encombrent tous les tissus au moment où l'accroissement des capillaires est le plus actif, on peut néanmoins observer, sur la paroi externe du capillaire, des pointes s'avançant en forme d'épine qui s'allongent en se creusant ; et il avait supposé, quand on croyait que les cellules conjonctives étaient creuses, que ces pointes allaient se mettre en rapport avec l'extrémité des prolongements des cellules connectives. L'abouchement produit, le réseau se trouvait augmenté d'autant, et l'on pouvait admettre alors qu'il se constituait à l'aide des cellules conjonctives. Depuis lors, cette hypothèse a été abandonnée par Kölliker lui-même, mais l'existence des pointes d'accroissement, chez les Batraciens au moins, n'en est pas moins réelle. Golubew et Rouget les considèrent comme produites par les cellules endothéliales et comme naissant le plus souvent au niveau d'un noyau ; mais Rouget avance que la pointe, d'abord pleine, se creusant peu à peu, le noyau s'y engage et s'y enfonce de plus en plus à mesure que la pointe s'allonge. Cette dernière devient ainsi une cellule vasculaire ou *angioplastique* (Rouget) résultant d'une différenciation momentanée d'une cellule endothéliale qui repasse bientôt elle-même à l'état endothélial, et peut émettre à son tour des pointes d'accroissement. Golubew et J. Arnold admettent un processus semblable, mais sans faire intervenir de cellule angioplastique.

Les vaisseaux capillaires émettent, dans le voisinage des noyaux endothéliaux, des pointes d'accroissement qui vont se mettre en rapport avec celles des capillaires voisins et s'y

soudent bout à bout. Elles se creusent bientôt à partir de leur base, les globules s'y engagent, et sous la poussée du sang, la cloison qui les séparait est détruite. Ainsi se produisent les réseaux vasculaires dans la queue du têtard ; il est facile, en



Fig. 84. — Accroissement des capillaires d'après Kölliker
c, *c*. Vaisseaux capillaires ; *n* noyaux des cellules endothéliales ; *p* pointes d'accroissement ; *e* cellule conjonctive ; *b* union d'une pointe d'accroissement avec une cellule conjonctive. (Batraciens.)

effet, d'observer cette formation dans l'animal vivant curarisé où l'on assiste au phénomène dont on peut dessiner les différentes phases à la chambre claire. On peut aussi fixer ces phases en traitant les expansions membraneuses par l'alcool ou les solutions chromiques et en les colorant avec l'hématoxyline ou le carmin. On peut encore faire des imprégnations au

nitrate d'argent pour observer l'endothélium, et l'on voit ainsi que les pointes d'accroissement ne présentent pas encore de dessin endothélial. On peut donc les considérer comme des émanations protoplasmique tubulées. (Eberth).

Quant aux Mammifères, Ranvier a fait d'importants travaux sur le grand épiploon du lapin et du chat nouveau-né, à l'aide des injections de gélatine colorée ou des colorations. On peut ainsi reconnaître les pointes d'accroissement des capillaires s'abouchant les unes avec les autres ou avec un autre capillaire.

Sur le grand épiploon du lapin très-jeune, on trouve des taches gaufrées, les unes microscopiques, les autres visibles à l'œil nu, et dans lesquelles il existe un réseau formé de cordons protoplasmiques, pleins, cylindriques, finement granuleux, munis de noyaux en bâtonnets très-avides de carmin. Dans quelques-unes de ces taches, que Ranvier appelle *taches laiteuses*, en raison de leur aspect, il a reconnu des réseaux semblables, mais creux, qui se sont mis en rapport avec un capillaire voisin, et, désormais parcourus par le sang, constituent une tache vasculaire, en continuité avec le système circulatoire général. Mais d'autres sont encore isolés « comme » une île au milieu de la mer. » Ce sont les *réseaux vasoformatifs* (Ranvier). Examinés sur un lapin nouveau-né, ces réseaux paraissent déterminés par une cellule en forme de bâton cylindrique, droit ou incurvé, munie de pointes protoplasmiques qui peuvent se souder les unes aux autres en réseau. Ces cellules dont la forme, l'étendue et la direction sont très-variables, sont douées d'une refringence considérable qui les fait remarquer immédiatement dans la tache laiteuse. Cette réfringence n'est comparable qu'à celle des cellules lymphatiques, cellules que l'on trouve toujours, d'ailleurs, en grand nombre autour des *cellules vasoformatives*. Le protoplasma, finement granuleux, contient des noyaux allongés. A la surface, on peut aussi reconnaître des cellules connectives plates recouvrant déjà, en certains points, la cellule vasoformative, comme elles recouvriront le vaisseau capillaire qui en résultera.

Quand on opère sur une membrane colorée par l'hématoxyline ou mieux par l'hématoxyline et l'éosine (par la méthode de M. Wissotsky), on reconnaît que certaines taches laiteuses sont formées de réseaux vasoformateurs complétement canaliculés et dans lesquels le sang circule ; on y voit les globules rouges colorés par l'éosine. Ces taches sont en rapport avec



Fig. 85. Cellule vasoformative.
v, cellule vasoformative ; *p*, pointes d'accroissement anastomosées entre elles et formant le réseau *r* : *n*, noyaux de la cellule : *c*, globules rouges du sang.

un vaisseau qui les relie au système circulatoire général. D'autres réseaux ne sont encore canaliculés qu'en partie ; d'autres encore sont canaliculés, quoique absolument isolés du réseau général, et contiennent déjà des globules rouges, tandis que, chez les plus jeunes animaux, on observe des réseaux encore pleins et formés de cellules vasoformatives qui ne présentent pas de cavité intérieure.

On voit que, dans ce processus, les cellules formatives des vaisseaux paraissent être en même temps formatives du sang, *hématoblastes* (Wissotsky), tandis que, chez le poulet, nous

avons vu le rôle d'hématoblastes réservé à de grandes vésicules spéciales, multinucléées. M. Wissotsky, de Kasan, qui a étudié la genèse des vaisseaux et du sang sur l'amnios du lapin, y a reconnu l'existence de cellules vasoformatives formant des réseaux, et dans lesquelles une partie du corps cellulaire se différencie en petites masses protoplasmiques qui sont des globules rouges au sein desquels apparaît, un peu plus tard, le noyau.

A ce sujet, il est fort intéressant de constater que les réseaux vasoformateurs encore isolés, mais déjà canaliculés, du grand épiploon du lapin peuvent contenir des globules rouges qui ne sont pas nucléés comme tous ceux du sang de l'embryon à cette époque. Il faut donc admettre que ces masses protoplasmiques déjà colorées, mais sans noyau, ne sont que des globules rouges encore imparfaits et dans lesquels le noyau s'organisera bientôt par une sorte de genèse analogue à celle du noyau vitellin au centre du vitellus. C'est, d'ailleurs, l'opinion de M. Wissotsky, qui a observé sur l'amnios du lapin des cellules vasoformatives contenant des globules sanguins complets et nucléés.

De ces observations il résulterait que le développement du système vasculaire n'est pas continu et que, dans certains points, comme dans les taches laiteuses, des réseaux vasculaires peuvent se former indépendamment et se relier plus tard au système général. Il est vrai qu'en raison de ce que certaines parties de l'appareil circulatoire de l'embryon se modifient et disparaissent à mesure que celui-ci se développe, on a soutenu que ces centres isolés de formation vasculaire sont, au contraire, des restes d'un réseau primitif en voie de régression, contenant encore des globules sanguins, même des globules adultes et non nucléés, mais déjà séparés du système général par l'atrésie et la disparition des vaisseaux qui les mettaient en communication. Mais cette supposition tombe d'elle-même, car il suffit d'examiner les réseaux vasoformateurs, surtout sur des pièces injectées, pour reconnaître qu'ils ne présentent aucune trace de dégénérescence, mais, au contraire, tous les caractères d'un développement actif. D'ailleurs, au fur et à mesure que l'organe, par exemple le grand épiploon du chat nouveau né ou

du lapereau, se développe, les réseaux vasoformateurs s'étendent, au lieu de s'atrophier, et se mettent en rapport avec le système vasculaire général.

VI

VAISSEAUX LYMPHATIQUES

Nous passerons très-rapidement ici sur l'histoire des vaisseaux lymphatiques et nous bornerons à exposer ce qu'on sait sur leur structure histologique, renvoyant tout ce qui a rapport à leurs fonctions au chapitre relatif à la circulation générale.

Les vaisseaux lymphatiques sont excessivement nombreux dans l'économie, et l'on doit considérer, au point de vue de la physiologie générale, les cavités des séreuses et les interstices des tissus comme des *espaces lymphatiques* dans lesquels, aussi bien que dans les vaisseaux proprement dits, se répand la lymphe et se meuvent les cellules lymphatiques.

Les vaisseaux lymphatiques ont, en général, une forme beaucoup plus accidentée et variable que les vaisseaux sanguins. Le même vaisseau présente dans sa continuité des séries incessantes de rétrécissements, de dilatations, de varicosités; quelquefois, même, il se distend et produit de véritables *sacs* ou *sinus lymphatiques*. Ce système de vaisseaux forme donc des réseaux beaucoup plus irréguliers dans leur aspect que les réseaux vasculaires sanguins, et constitue quelquefois de véritables *gaînes* à certains vaisseaux sanguins.

D'ailleurs, on peut distinguer, parmi les lymphatiques, des *capillaires* et des *troncs* principaux. Les uns et les autres sont toujours plus volumineux que les vaisseaux sanguins correspondants.

Comme ces derniers, les lymphatiques se composent de :

1° Un *endothélium* ;

2° Une *tunique élastique interne*;

3° Une *tunique moyenne*, composée de tissu conjonctif avec des fibres élastiques et des fibres musculaires lisses. Les

faisceaux conjonctifs et les fibres musculaires lisses ont une direction généralement transversale ;

4° Une *tunique externe*, formée des mêmes éléments, mais disposés généralement dans le sens longitudinal ou oblique et offrant une texture moins serrée.

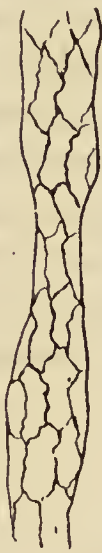


Fig. 86. Endothélium d'un lymphatique (imprégnation d'argent).

L'endothélium des lymphatiques, découvert par Recklinghausen (1862), ressemble beaucoup à celui des veines ; il est composé de cellules allongées dans le sens de l'axe du vaisseau, et d'autant plus allongées que le canal est plus étroit, mais leurs bords sont beaucoup plus sinueux et dentelés que sur l'endothélium des veines. Dans les sacs lymphatiques, comme sur la paroi des cavités séreuses, ces cellules s'élargissent et prennent les formes les plus irrégulières. On peut les reconnaître à l'aide des imprégnations d'argent. C'est entre elles qu'Auerbach a signalé l'existence *d'espaces intercalaires*.

L'endothélium des capillaires lymphatiques est-il doublé extérieurement d'une membrane, premier rudiment de la lame élastique interne des gros troncs, et correspondant à celle dont l'existence paraît très-probable dans les capillaires sanguins ? cela est probable aussi, mais non encore démontré.

Dans tous les cas, à mesure que l'on considère des vaisseaux lymphatiques plus importants, la structure de leur paroi se complique, et un vaisseau de 2 millimètres de diamètre est pourvu des trois tuniques, interne, moyenne et externe que nous avons énumérées plus haut (Kölliker). La structure de ces tuniques offre la plus grande analogie avec celle des veines ; comme les veines aussi, d'ailleurs, les lymphatiques présentent des valvules formées aux dépens d'un repli de leur tunique interne.

Quant au mode de développement des vaisseaux lymphatiques, il est encore fort peu connu, et l'accroissement paraît se faire, chez les têtards de grenouille du moins, de la même manière que celui des vaisseaux sanguins. Rouget a pu suivre le développement des pointes d'accroissement, et on peut les examiner sur l'animal vivant quand les granulations vitellines commencent à être un peu moins abondantes. On reconnaît alors les capillaires lymphatiques à leur diamètre irrégulier, au nombre considérable de bosselures et de pointes dont est couverte leur paroi, pointes qui sont bien moins vives que les véritables pointes d'accroissement. On observe en même temps les noyaux de l'endothélium, ovalaires dans le sens de l'axe et entourés d'une quantité notable de protoplasma granuleux. Il est inutile d'ajouter qu'il ne circule pas de sang dans le réseau lymphatique.

PRÉPARATION

Une des méthodes de préparation les plus simples pour l'étude des gros vaisseaux sanguins consiste à faire des coupes longitudinales et transversales sur des pièces desséchées.

On fend le vaisseau dans sa longueur et on l'étale, comme une membrane, avec des épingles, sur une lame de liége, la face interne en dessus, en notant la direction de la pièce ; puis on la soumet à une dessiccation rapide, par exemple, dans un courant d'air chaud. On fait ensuite les coupes avec un rasoir à trempe dure sur la lame vasculaire qu'on a introduite dans une fente profonde, pratiquée dans un bouchon de liége. En appuyant avec le plat du rasoir sur la surface du bouchon, on fait saillir au-dessus de la fente une très-petite épaisseur de la lame que l'on tranche d'un coup de rasoir. Puis, laissant le liége revenir sur lui-même et affranchissant la surface, on recommence pour pratiquer une série de coupes parmi lesquelles on choisit les plus minces et les plus longues. On les laisse gonfler dans l'eau, puis on les colore par le picrocarminate. Pour l'observation, il est indispensable de les étendre par la demi-dessiccation sur le porte-objet ; on fixe les extrémités par deux gouttes de paraffine et on ajoute, au milieu,

comme liquide additionnel, une nouvelle goutte de picrocarminate qui, par son acide picrique, colore les fibres élastiques en jaune, tandis que les noyaux des fibres musculaires et des cellules connectives sont teintes en rouge. On recouvre rapidement et on substitue sous la lamelle la glycérine formique au picrocarminate dont l'action est épuisée.

On étudiera l'endothélium sur des vaisseaux très-frais après imprégnation au nitrate d'argent, à 1 pour 500, et on éclaircira la préparation par la glycérine, ou mieux par l'essence de girofle, après déshydratation par l'alcool. On montera, dans ce cas, dans le baume du Canada. On prendra de préférence des vaisseaux dont les parois ne soient pas trop épaisses.

Les lames élastiques pourront être dissociées sur les grosses artères après macération de quelques heures dans l'acide tartrique à 1 pour 100, et les cellules musculaires après macération de 24 heures dans l'alcool au tiers. En colorant par le picrocarminate, on pourra mettre en évidence le noyau des fibres-cellules dissociées.

L'imprégnation d'argent permettra aussi de reconnaître la disposition et les contours des fibres-cellules au-dessous de l'endothélium, en injectant dans une veine en place (jugulaire du lapin) la solution de nitrate d'argent à 1 pour 500, entre deux ligatures, après en avoir chassé le sang. On lave par plusieurs injections d'eau distillée, et on soumet le fragment de veine détachée et insufflée entre deux ligatures à la dessiccation. Puis on ouvre la veine, on en éclaircit des fragments dans l'essence de girofle et on monte dans le baume du Canada. Ce procédé a l'avantage de faire voir les rapports des éléments en place et non déformés par l'affaissement de la veine vide. On opérera de même sur une artère, mais il n'est pas besoin d'employer l'insufflation.

On peut étudier les artérioles et les veinules dans leur ensemble, soit en les isolant avec les aiguilles dans un tissu mou, le cerveau, par exemple, ou la moelle, le tissu conjonctif lâche dissocié préalablement par une injection interstitielle, pour les colorer dans le picrocarminate, soit en préparant dans leur entier de minces membranes vasculaires, le

mésentère de la grenouille ou des petits mammifères, le grand épiploon du lapin, les expansions de la queue des têtards, etc.

Il faut que la membrane soit tendue par la demi-dessiccation après fixation par l'alcool au tiers ou le liquide de Müller ; on colorera alors par le picrocarminate ou la purpurine, ou bien encore on imprégnera par le chlorure d'or et de potassium à 1 pour 10000. Dans ce dernier cas, on laissera la membrane environ 2 heures dans la solution d'or; puis, après lavage, on l'exposera à la lumière dans la glycérine. L'étude des artérioles par ces procédés est extrêmement instructive et montre admirablement la disposition des fibres musculaires, dont les noyaux sont colorés, autour de l'artériole, surtout si elles n'y forment qu'une seule couche dont on peut reconnaître ainsi facilement l'arrangement spiral. La structure des parois des veinules se montre avec la même netteté et l'on peut la comparer avec celle des artérioles.

Les mêmes procédés d'imprégnation au nitrate d'argent, soit par immersion des membranes vasculaires, soit par injection, permettront de reconnaître la disposition des capillaires et particulièrement celle de l'endothélium, dont on mettra les noyaux en évidence en colorant ensuite par le picrocarminate. On conservera les préparations dans la glycérine additionnée de 1 pour 100 d'acide oxalique.

Les injections des capillaires par le nitrate d'argent pour examiner l'endothélium et reconnaître les stomates ainsi que les espaces intercalaires se feront avec succès sur la grenouille que l'on injectera en totalité par la pointe du cœur reséquée. On attend que l'animal ait perdu la plus grande partie de son sang et l'on injecte 10 centimètres cubes de nitrate d'argent à 1 pour 800, après avoir lié le cœur en masse autour de la canule. Sur le lapin, on injecte par l'artère mésentérique. Le mésentère de la grenouille ou le grand épiploon du lapin seront alors placés dans l'alcool au tiers et préparés dans la glycérine ou dans le baume du Canada après déshydratation.

Dans le cas où l'on voudra particulièrement rechercher les espaces intercalaires ou les stomates, il conviendra d'éviter autant que possible les dépôts irréguliers d'argent sur la paroi

interne dus à la coagulation de matières albuminoïdes par le sel d'argent. Pour cela on lavera d'abord les vaisseaux par une injection d'eau distillée et on emploiera un sel d'argent à acide organique, comme le lactate, à 1 pour 800, acidifié avec 10 à 15 gouttes d'une solution concentrée de l'acide du sel dans 800 cent. cubes de la liqueur d'argent. On constatera ainsi qu'il n'y a plus de dépôts irréguliers d'argent, mais en même temps qu'il n'existe pas de stomates préformés dans l'endothélium des capillaires (1). M. J. Alferow, à qui l'on doit l'invention de ce procédé, avance même qu'il ne se forme pas de stomates proprement dits, mais que la diapédèse s'effectue entre les bords des cellules endothéliales disjointes, bords qui paraissent revenir en place après le passage du globule.

Quant à l'étude de la circulation capillaire sur l'animal vivant, nous avons donné, en traitant du *Sang*, les indications nécessaires, nous n'y reviendrons donc pas, mais nous rappellerons que pour observer la diapédèse il faut faire des observations très-prolongées, sur une membrane mise à nu, par exemple le mésentère de la grenouille curarisée. Le petit appareil de Holmgren, si commode pour observer la circulation dans le poumon de la grenouille, servira aussi très-avantageusement pour observer celle du mésentère. Ce n'est que 3 ou 4 heures après le commencement de l'expérience que la diapédèse des globules blancs deviendra manifeste, et 6 à 10 heures seulement après, que l'on observera la diapédèse des globules rouges. Le passage de ces derniers est assez facile à voir, mais pour celui des globules blancs, il conviendra de colorer ceux-ci avec des poudres impalpables en suspension dans l'eau et injectées d'avance dans le sac lymphatique dorsal de la grenouille. On peut employer le carmin, le vermillon, le bleu d'aniline insoluble dans l'eau et précipité de sa solution dans l'alcool au tiers par un volume d'eau plus que double. (Ranvier).

Pour observer la forme et la distribution des réseaux capillaires, le meilleur procédé consiste à faire l'injection générale

(1) J. Alferow, *Archives de Physiologie*, 1874.

de tout le système vasculaire sanguin sur un petit animal avec une masse à la gélatine colorée par le carmin ou le bleu de Prusse. On injecte la grenouille par la pointe du cœur et les petits mammifères par le bout central de la carotide (1) à l'aide des procédés ordinaires que connaissent tous les anatomistes. Quand l'injection, faite à une température de 35°-38°, est refroidie, le lendemain par exemple, on enlève les organes à étudier et on les durcit dans le liquide de Müller ou dans l'acide picrique concentré. On colore les membranes ou les coupes faites après durcissement complet par le picrocarminate ou mieux par la purpurine, si les pièces ont séjourné dans la solution chromique, ce qui les rend difficilement colorables par le carmin.

Les préparations d'organes un peu épais, après injection vasculaire, seront de préférence montées dans le baume, et le microscope binoculaire fera admirablement comprendre la disposition du réseau capillaire.

Le développement des capillaires peut être étudié sur les expansions de la queue des têtards vivants du 8me au 15e jour après la ponte. Plus le petit animal sera jeune, plus l'observation sera gênée par les granulations vitellines, mais plus la marche des pointes d'accroissement sera rapide. On l'immobilise d'ailleurs en le plaçant dans de l'eau contenant quelques gouttes d'une solution de curare au centième, après lui avoir fait une petite blessure avec la pointe d'une aiguille.

On peut préparer les réseaux capillaires en accroissement en plongeant le têtard dans l'alcool au tiers pendant deux ou trois heures, pour détacher l'épithélium cutané qui se séparera quand on portera ensuite l'animal dans l'eau distillée. Au besoin, on achève l'opération avec le pinceau. Pour ne pas dissoudre l'hémoglobine des globules sanguins contenus dans les vaisseaux, on peut employer au lieu d'alcool au tiers un mélange d'un volume d'alcool à 36° avec 2 vol. d'une solution de chlo-

(1) Les poumons seuls ne seront pas injectés. Pour les injections à la gélatine sur la grenouille, il faut toujours porter d'abord l'animal à la température de 35°-38°, en le plaçant pendant un quart d'heure dans de l'eau chauffée à ce degré.

rure de sodium à 1 pour 100. (Ranvier). On colore avec le picrocarminate ou l'hématoxyline.

L'imprégnation d'argent donne aussi de bons résultats en montrant l'endothélium des capillaires : On plonge le têtard pendant quelques minutes dans le nitrate d'argent à 1 pour 1000, pour détacher l'épithélium cutané qu'on brosse ensuite au pinceau dans l'eau distillée (Eberth). Puis on le replace pendant une ou deux heures dans le nitrate d'argent à l'obscurité; enfin, après lavage, on le soumet à l'insolation dans la glycérine.

Pour l'étude des cellules et des réseaux vasoformateurs, Ranvier recommande, comme nous l'avons dit, le grand épiploon du chat nouveau-né ou du lapin de quelques semaines à trois mois. Après injection, avec les précautions ordinaires, de 30 à 40 cent. cubes de masse de gélatine au bleu de Prusse, par le bout central de la carotide, le grand épiploon enlevé délicatement sur l'animal refroidi, est placé pendant une heure dans l'acide picrique ; les fragments sont colorés sur le porte-objet par le picrocarminate auquel on substitue la glycérine sous la lamelle.

Mais c'est particulièrement sur le grand épiploon du jeune lapin que Ranvier a fait ses belles études sur les taches laiteuses et les cellules vasoformatives qu'elles contiennent. On peut observer dans la sérosité péritonéale la membrane enlevée sur l'animal qu'on vient de sacrifier, ou pratiquer une injection générale au bleu de Prusse pour colorer ensuite au picrocarminate.

Les cellules et les réseaux vasoformatifs encore isolés et qu'une injection n'atteindrait par conséquent pas, sont facilement étudiés en plaçant la membrane pendant 24 heures dans l'alcool au tiers, puis après lavage, pendant une heure, dans le chlorure d'or et de potassium à 1 pour 10000. On lave, on monte dans la glycérine et on expose à la lumière la préparation sur laquelle les vaisseaux, les cellules vasoformatives et lymphatiques sont colorés en violet rougeâtre.

Enfin, M. Wissotzky emploie la coloration double par l'hématoxyline et l'éosine après fixation dans le liquide de Müller. Les noyaux sont colorés en bleu foncé, les corps cellulaires en bleu clair, et les globules sanguins en rouge s'ils n'ont pas de noyau, mais s'ils en possèdent un, ce noyau est coloré en bleu.

Les mêmes procédés sont applicables à d'autres membranes, par exemple à celle de l'amnios du fœtus de lapin.

Quant à l'embryon de poulet, on doit, pour assister à la formation des îlots sanguins, opérer sur un œuf au bout de 24 heures d'incubation environ. L'œuf étant convenablement assujetti, l'embryon se porte à la partie supérieure en tournant sur les chalazes, et si l'on pratique une ouverture dans la coquille au niveau de l'équateur, on le met à découvert. On peut fixer ses éléments en maintenant à sa surface, pendant quelques minutes, une goutte d'acide osmique à 1 pour 100 ou de sérum iodé prise dans un tube dont on bouche l'extrémité supérieure avec le doigt. La fixation opérée, on coupe la membrane vitelline autour de l'aire vasculaire, avec des ciseaux fins, et on la porte dans le sérum iodé avec l'embryon qui lui reste attaché. Mais celui-ci se sépare bientôt et on l'étale, la face profonde en dessus, sur une lame de verre où on le colore au picrocarminate.

L'acide osmique, employé par M. G. Pouchet, pour l'étude de l'embryon de poulet, donne aussi de bons résultats.

Les procédés que nous avons indiqués pour l'étude des vaisseaux sanguins, et notamment des veines, pourront être appliqués à celles des vaisseaux lymphatiques, particulièrement les imprégnations au nitrate d'argent. On acquiert, par ces moyens, la connaissance de leur structure histologique, mais nous reviendrons, en traitant de la *Circulation*, sur l'étude anatomique et physiologique de cet important système.

Les injections colorées, opérées par piqûres des organes riches en vaisseaux lymphatiques, mettront en évidence les réseaux compliqués que forment les capillaires lymphatiques. L'une des préparations de ce genre les plus faciles à exécuter est l'injection complète du réseau lymphatique de la patte d'une grenouille, en piquant une des vastes cavités lymphatiques communicantes placées sous la peau de la cuisse. On peut de même injecter un têtard tout entier ou, au moins toute la queue, en poussant avec précaution une injection colorée à l'aide d'une seringue hypodermique munie d'une canule tranchante et très-fine que l'on enfonce à peu près au hasard vers la partie postérieure du corps à la naissance de la queue.

CHAPITRE IX

TISSU NERVEUX

I

ÉLÉMENTS DU TISSU NERVEUX

Le *système nerveux* se révèle principalement à nous par la *sensibilité*, le *mouvement* et la *nutrivité*.

Si l'on pince la patte d'un animal, il manifeste de la douleur et fait un mouvement pour dégager le membre attaqué.

Si l'on coupe le nerf qui se rend à ce membre, la sensibilité et le mouvement y sont abolis au-dessous de la section, et la nutrition des tissus y éprouve des altérations diverses.

Ainsi, c'est le système nerveux qui met les êtres animés en rapport avec le monde extérieur.

C'est par la surface du corps, épiderme cutané et épithélium des muqueuses, que l'animal est mis en contact avec ce monde extérieur.

Cette surface reçoit les impressions qui chez les animaux supérieurs sont transmises par des *nerfs sensitifs* à des *centres nerveux;* ceux-ci par l'intermédiaire de *nerfs moteurs* envoient aux muscles l'excitation qui les fait entrer en contraction pour la fuite ou l'attaque, à certaines glandes celle qui leur fait élaborer la sécrétion propre à chacune d'elles, aux appareils spéciaux de divers poissons comme la Torpille, le Gymnote, celle qui leur fait produire les décharges électriques à l'aide desquelles ils se défendent.

L'excitation produite sur une partie périphérique de l'animal donne ainsi lieu à un mouvement, à une sécrétion, à une décharge électrique, par une *action réflexe*.

D'autre part, l'action des centres nerveux sur les divers tissus se manifeste par la *régularisation de leur nutrition*.

Toutefois, ainsi que nous l'avons dit en traitant de la cellule en général, la propriété nerveuse, la *névrilité*, n'est pas toujours localisée et ne constitue pas l'attribut particulier d'un système ou de tissus spéciaux. C'est ainsi que la cellule unique qui compose le corps de l'amibe sent, se contracte et se nourrit : les différentes fonctions de la cellule ne sont pas localisées, l'élément nerveux n'en est pas encore différencié. Chez l'hydre d'eau douce, la cellule de l'ectoderme est épithéliale et nerveuse à sa partie externe, motrice, contractile ou musculaire par sa partie profonde (Kleinenberg). Un peu plus haut dans la série, la partie épithéliale sensible et la partie contractile se différencient davantage et forment deux cellules distinctes. Puis, entre ces deux parties extrêmes, une troisième vient se placer, c'est une *cellule nerveuse*, un *centre nerveux* relié d'un côté à la cellule épithéliale par un prolongement qui est un *nerf sensitif*, et de l'autre à la cellule musculaire par un autre prolongement qui est un *nerf moteur*.

Enfin, un état de différenciation plus complet encore serait celui dans lequel la cellule épithéliale sensitive serait reliée par un nerf sensitif à une cellule nerveuse sensitive ; celle-ci, par un nerf intermédiaire, à une cellule nerveuse motrice qui serait elle-même en rapport par un nerf moteur avec la cellule musculaire.

Tels sont les divers schémas par lesquels on peut représenter les différentes phases de différenciation du système nerveux depuis l'amibe jusqu'aux vertébrés supérieurs. Nous aurons à revenir plus tard, sur toutes ces questions, d'une manière moins générale, quand nous traiterons du *système nerveux* dans son ensemble ; mais, dès à présent, nous voyons que ce système comprend divers éléments, les nerfs et les cellules nerveuses, qui composent essentiellement ce qu'on a appelé le *tissu nerveux*.

Les nerfs, d'une part, sont de diverses espèces, et les cellules nerveuses revêtent des caractères différents, selon les centres qu'elles contribuent à former, *cellules ganglionnaires*,

telles qu'on les trouve par exemple dans les ganglions spinaux, *cellules nerveuses* proprement dites, telles qu'elles existent dans la moelle et dans le cerveau.

Nous avons donc à étudier successivement les nerfs et les éléments qui les composent, puis les cellules nerveuses et les cellules ganglionnaires ; après quoi, nous exposerons le mode d'agencement de ces éléments et leurs rapports réciproques pour former le système nerveux.

II

LES NERFS

Les nerfs émanent du centre céphalo-rachidien ; ils en sortent par les racines antérieures et postérieures et se ramifient à l'infini vers la périphérie du corps, constituant le système nerveux périphérique, destiné à transmettre aux centres les impressions extérieures et à porter de ceux-ci vers la périphérie les excitations motrices ou autres.

Il existe, en effet, avons-nous dit, diverses espèces de nerfs ; nous avons déjà nommé des nerfs sensitifs et des nerfs moteurs ; nous pourrions ajouter des nerfs glandulaires et des nerfs électriques (ces derniers pour les poissons électriques), mais les uns et les autres doivent être classés avec les nerfs moteurs, — tous, en effet, sont des nerfs de la vie animale ou de relation, et leurs effets manifestent la réaction de la sensibilité. Mais il est d'autres nerfs, en rapport d'une manière spéciale avec les fonctions de la vie organique, constituant, par exemple, ce qu'on appelle le *système du grand sympathique* ; il est même des *nerfs mixtes*. Enfin, on connaît des nerfs tout à fait particuliers, appartenant à des sens spéciaux, par exemple, le nerf olfactif.

Mais si ces nerfs diffèrent dans leur composition au point de vue physiologique, l'histologie n'y trouve que les mêmes éléments, sauf, toutefois, pour le nerf olfactif qui est d'une nature spéciale et que nous étudierons en même temps que l'organe de l'odorat.

Si l'on découvre, sur un animal tout récemment sacrifié, le

nerf pneumogastrique, qu'on en détache avec précaution un fragment, puis qu'après l'avoir laissé pendant quelques heures dans l'alcool on l'examine sous un faible grossissement, on observe qu'il est enveloppé dans une gaîne épaisse que l'on peut fendre dans sa longueur avec des ciseaux fins, et qu'il est facile de reconnaître comme composée de tissu conjonctif disposé en lamelles. On peut alors dissocier le nerf retiré de sa gaîne, et l'on voit qu'il est formé de faisceaux enveloppés chacun dans une nouvelle gaîne conjonctive beaucoup plus fine ; et si quelques-uns de ces faisceaux ont été rompus par les aiguilles, on reconnaît qu'ils sont constitués par des fibres de deux espèces différentes. Les unes ont un double contour très-marqué et offrent l'aspect de tubes contenant une substance réfringente, substance qui présente jusqu'à un certain point l'aspect des matières grasses et que l'on peut voir s'échapper peu à peu par l'extrémité sectionnée ou par les déchirures accidentelles du tube, en formant dans le liquide de la préparation des filaments rubanés, puis des gouttes et des flocons à double contour. Cette matière est la *myéline* et les fibres nerveuses qui la contiennent sont des *fibres à myéline*, ou *tubes nerveux à myéline.*

A côté des tubes à myéline, on voit d'autres fibres, en général plus fines que ces derniers. Elles ne présentent pas de double contour, mais une légère striation longitudinale, et si l'on a coloré par le picrocarminate, on peut reconnaître des noyaux allongés, volumineux, qui paraissent çà et là appliqués à leur surface. Elles ont l'aspect de rubans et non de tubes ; aucune substance molle ne s'échappe par leur extrémité sectionnée, et de plus, en les examinant dans leur longueur, on peut constater qu'elles sont anastomosées en mailles très-allongées dont le plus grand nombre ont été rompues, il est vrai, par les aiguilles, mais dont on reconnaît les travées séparées. — Ce sont les *fibres de Remak.*

Enfin, dans l'épaisseur du tissu conjonctif qui sépare les faisceaux nerveux, et même dans l'intérieur de ces faisceaux, entre les tubes nerveux, on trouve des vaisseaux sanguins de divers calibres.

Tels sont les seuls éléments que nous trouverons dans les nerfs et que nous étudierons successivement.

1° Les tubes à myéline, qui existent dans tous les nerfs avant leur terminaison;

2° Les fibres de Remak, que l'on rencontre seulement dans certains nerfs, et particulièrement dans ceux de la vie organique;

3° Le tissu conjonctif des nerfs;

4° Les vaisseaux sanguins et lymphatiques qui servent à la nutrition des nerfs.

Tubes nerveux à myéline. — Les tubes nerveux à myéline sont des éléments très-rapidement altérables et qu'il est, par conséquent, difficile d'étudier sur l'homme avant que des altérations cadavériques s'y soient depuis longtemps produites, à moins d'opérer sur des membres amputés. Leur diamètre est très-variable, soit dans les différents nerfs, soit dans les différents faisceaux qui composent un nerf, soit encore dans un même faisceau nerveux.



Fig. 87. — Tubes nerveux à myéline.

Si l'on prend un nerf d'un animal qu'on vient de sacrifier, par exemple le nerf sciatique d'une grenouille, qu'on ouvre sa gaîne, et qu'on le dissocie rapidement dans de l'eau, en ayant soin d'appliquer toujours les aiguilles en un même point, on reconnaît que les tubes à myéline revenus sur eux-mêmes affectent facilement une forme onduleuse ou en zigzag, qui donne au nerf non tendu un aspect moiré. Les tubes sont limités des deux côtés par une bordure

de myéline très-réfringente et présentent un axe plus clair. La myéline s'échappe, comme nous l'avons dit, par la section du tube ou par ses déchirures, en rubans ou filaments formant des pelotons et des volutes de figures très-variées, montrant un double contour sur leur bord, et se groupant en gouttes plus ou moins volumineuses qui flottent dans la préparation. Mais cet aspect ne dure que peu d'instants, la myéline forme bientôt des bosselures dans le tube, elle y prend l'apparence d'un magma caillebotté qui devient granuleux. Elle continue à s'écouler par le bout des tubes coupés, et les amas répandus paraissent gonflées, granuleux; leurs bords présentent non-seulement un double contour, mais souvent plusieurs lignes concentriques.

Les tubes peuvent ainsi se vider dans une partie de leur étendue, grâce à cet écoulement de la myéline, écoulement dû à une cohésion particulière de cette substance que l'eau ne coagule pas, ainsi qu'on le dit ordinairement, mais qu'elle gonfle tout en lui laissant toute sa fluidité.

Lorsque certains tubes se sont ainsi vidés par une extrémité, on peut reconnaître que le tube existe encore, il est donc formé par une membrane, et l'on voit même que cette membrane est flasque, peu élastique et forme des plis. C'est la *membrane* ou *gaîne de Schwann*.

En employant la lumière oblique et de forts grossissements, on arrive à distinguer vaguement dans le tube, formé par la gaîne de Schwann vidée, un axe transparent qui parfois en sort à l'extrémité ouverte comme la mèche d'une bougie. Cet élément axile, découvert par Remak, a été désigné par Purkinje sous le nom de *cylindre-axe*.

Si, au lieu de dissocier le nerf dans l'eau, on opère dans le picrocarminate, l'écoulement et l'altération de la myéline sont moins rapides, mais la matière colorante pénètre dans le tube par l'extrémité sectionnée et colore le cylindre-axe en rose, sur une longueur plus ou moins considérable, suivant qu'elle a agi plus ou moins longtemps; elle reste sans action sur la myéline. Partout où cette substance est conservée, le cylindre-axe est invisible parce qu'il est masqué par elle, son indice de

réfraction n'étant pas assez différent ; de plus, il est protégé par elle contre l'action de la matière colorante, mais en certains points où le tube est infléchi, le cylindre-axe vient au contact de la gaîne de Schwann sur un des bords de la courbure, tandis que la myéline est refoulée de l'autre côté de la courbe. A ces points, le cylindre-axe se colore à travers la membrane qui est perméable, tandis que le manchon de myéline ne l'est pas.

Enfin, si l'action de la matière colorante a été longtemps maintenue, on remarque, en examinant les tubes sur leur longueur, des points régulièrement espacés, sur un même tube où l'on voit apparaître, assez nettement indiqué, quoique sur une très-petite étendue, le cylindre-axe de chaque tube. Il semble qu'en ces points le manchon de myéline manque et la gaîne de Schwann est immédiatement appliquée sur le cylindre-axe, ce qui permet à la matière colorante de l'atteindre. En effet, le tube, en ces points, présente un étranglement notable. Ranvier, à qui l'on doit à peu près tout ce qu'on sait aujourd'hui de précis sur la structure des nerfs, a désigné ces points sous le nom d'*étranglements annulaires* (1). La partie du tube comprise entre deux étranglements constitue un *segment interannulaire*. La longueur de ces segments est constamment la même sur un même tube et ils sont d'autant plus courts que le tube est plus petit. C'est-à-dire que le rapport de la longueur du segment au diamètre du tube est sensiblement constant. Sur les tubes moyens des nerfs du lapin la longueur des segments est d'environ 1 millimètre.

Un procédé beaucoup meilleur pour observer les étranglements annulaires et le cylindre-axe consiste à dissocier un nerf frais dans une solution de nitrate d'argent à 1 pour 400 ou 500. Après lavage on l'expose à la lumière, et, en faisant passer très-lentement de la glycérine dans la préparation, on constate que chacun des tubes porte de distance en distance de petites croix noires qui frappent aussitôt par leur régularité.

(1) L. Ranvier. *Recherches sur l'histologie et la physiologie des nerfs*. (*Archives de Physiologie*, 1872.)

Ces croix sont toutes placées au niveau d'un étranglement et leur branche transversale forme précisément l'étranglement lui-même. Cette branche transversale représente la soudure imprégnée par l'argent des deux segments de la gaîne de Schwann qui forme en ce point comme un diaphragme divisant la myéline pour la maintenir à la surface du cylindre. Quant à celui-ci, il traverse le diaphragme et passe d'un segment interannulaire dans l'autre, mais à cet endroit, où la myéline manque, il se trouve en rapport immédiat avec la gaîne de Schwann, membrane perméable à travers laquelle le nitrate d'argent a pénétré pour agir sur le cylindre-axe et le colorer en noir dans une longueur d'autant plus grande que l'action a été plus longue. C'est le cylindre-axe coloré par l'argent qui forme la branche longitudinale de la croix. (Ranvier.)

Ainsi la barre transversale de la croix représente la projection optique d'une soudure annulaire faisant le tour du tube.



Fig. 88. — Étranglement annulaire imprégné par l'argent.

L'action du nitrate d'argent sur le cylindre-axe ne se borne pas à imprégner la soudure des membranes de Schwann de deux segments voisins et à colorer le cylindre-axe au niveau de cet étranglement. Si l'on examine le cylindre-axe sous un fort grossissement, on reconnaît que la coloration en noir de ce cylindre est due à la formation de stries transversales noires qui vont en diminuant de nuance et en s'espaçant davantage de chaque côté de l'étranglement. Ces stries, découvertes par Frommann (1864) sur les cylindres-axes des tubes nerveux de la moelle, sont connues sous le nom de *stries de Frommann*.

Mais si l'on a dissocié le nerf après l'avoir imprégné dans le nitrate d'argent, on a toujours exercé certaines violences

sur les tubes, et, en cherchant dans la préparation, il n'est pas rare d'y rencontrer, lorsqu'on a bien éclairci la myéline avec



Fig. 89. — Stries de Frommann sur un cylindre-axe isolé.

la glycérine, des tubes dans lesquels le cylindre-axe, imprégné d'abord au niveau de l'étranglement, a glissé dans sa gaîne de myéline, et la partie imprégnée se trouve alors au-dessus ou au-dessous de l'étranglement marqué par l'anneau noir transversal. En l'examinant avec soin, on voit qu'il n'a pas, en ce point, la forme cylindrique, mais qu'il est renflé en un anneau composé de deux cônes tronqués, très-bas, opposés base à base et se continuant, par leurs sommets tronqués, avec la partie restée cylindrique de l'axe au-dessus et au-dessous de ce renflement. C'est le *renflement-biconique* (Ranvier). Le ventre de ce renflement n'est pas formé par une arête vive mais par une sorte de pan coupé, et en comparant le diamètre de cette partie au diamètre intérieur de l'anneau de l'étranglement, on reconnaît que les dimensions en sont égales. En effet, avant son déplacement, le renflement biconique était situé dans l'étranglement et sa zone médiane mousse était engagée, comme un bouchon, dans l'anneau de celui-ci à la partie interne de la gaîne de Schwann ; c'est ainsi qu'était formée la cloison séparant les deux segments interannulaires.



Fig. 90. — Renflement biconique.

Cette cloison peut néanmoins être franchie et la myéline passe d'un segment dans l'autre, soit que le renflement biconique, qui fait, pour ainsi dire, bouchon, se déplace, comme nous venons de le voir, soit que la myéline fuse entre lui et l'anneau élargi de la gaîne de Schwann. Mais cette disposition résulte toujours d'un accident de préparation, soit qu'on ait tiraillé le tube pendant la dissociation, soit qu'on ait exercé une pression sur l'un des segments. Sous l'influence de cette pression, la myéline comprimée contre l'étranglement dilate la gaîne de Schwann au-dessus de lui, et forçant la cloison, passe dans le segment adjacent qu'elle gonfle aussi au-dessous de l'étranglement. Si la pression est suffisante, cet effet peut se produire sur plusieurs segments, mais en diminuant d'intensité à mesure qu'on s'éloigne du point comprimé. Il est facile de se rendre compte de ce mécanisme qui semble montrer des étranglements incomplets.



Fig. 91. — Deux tubes nerveux après macération dans l'acide osmique; (étranglements annulaires et noyaux).

L'une des méthodes les plus commodes pour étudier les tubes à myéline consiste à faire macérer le nerf pendant quelques heures dans l'acide osmique à 1 pour 100. On lave à l'eau distillée et l'on dissocie les

tubes avec précaution. On trouve alors que la myéline a été fixée et colorée en brun noir plus ou moins intense. Les étranglements sont alors parfaitement visibles et chaque tube paraît fractionné en segments bout à bout séparés par des lignes incolores qui représentent précisément les étranglements. Cette disposition est plus accusée si le nerf a été légèrement tendu au moment de la fixation afin de redresser ses ondulations. Au milieu du ménisque biconcave et clair des étranglements, on reconnaît une courte ligne transversale brillante qui est le cylindre-axe visible en ce point seulement où manque la myéline et ordinairement masqué dans tout le reste du tube par le manchon noir de myéline.

Il peut arriver, si la solution osmique est trop étendue, qu'elle s'insinue à travers la gaîne de Schwann au niveau des étranglements, (point où, nous le savons, manque la myéline et où le tube est perméable), dans la partie des deux segments avoisinant l'étranglement et refoule la myéline d'une certaine quantité, au-dessus et au-dessous du renflement biconique, avant de la fixer. L'étranglement est alors limité au-dessus et au-dessous par un espace clair plus ou moins étendu dans lequel on distingue le cylindre-axe qui paraît notablement rétréci.



Fig. 92. — Étranglement annulaire d'un tube nerveux après traitement par l'acide osmique.

Si, maintenant, on examine le tube nerveux le long d'un segment interannulaire, on aperçoit bientôt, sur chacun de ces segments et vers le milieu de sa longueur, une encoche claire dans le manchon noir de myéline. Cette encoche est remplie par une petite masse de protoplasma granuleux que recouvre la gaîne de Schwann et dans laquelle est placé un noyau ovoïde. Chez les jeunes animaux, la masse de protoplasma est beaucoup plus considérable qu'à l'âge adulte, et à l'état physio-

logique on ne trouve qu'un noyau par segment, (Ranvier) sauf peut-être chez les poissons (Toel.)

Les noyaux et le protoplasma qui les environne peuvent être reconnus sur les nerfs frais dissociés et maintenus dans le picrocarminate, et d'autant mieux qu'on sait à très-peu de choses près la position qu'ils occupent, et qu'on a éclairci la myéline par la glycérine, mais ils sont néanmoins assez difficiles à voir. L'acide osmique les met, au contraire, immédiatement en évidence en ménageant dans le manchon noir de myéline l'encoche claire où ils sont appliqués sous la gaîne de Schwann. On peut, d'ailleurs, encore les colorer au picrocarminate après l'action de l'acide osmique si celui-ci n'a pas agi trop longtemps.

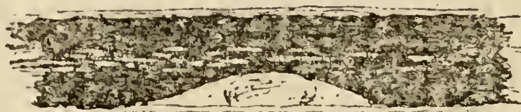


Fig. 95. — Protoplasma et noyau d'un segment interannulaire, après traitement pour l'acide osmique.

En continuant l'examen attentif des fibres nerveuses fixées en extension par l'acide osmique, on remarque à différents niveaux dans le manchon de myéline des lignes plus claires, transversales ou plutôt obliques qui partant de la gaîne de Schwann vont le plus souvent jusqu'au cylindre-axe, mais quelquefois aussi ne traversent pas toute l'épaisseur de la couche de myéline. Ces lignes figurent comme des incisures qui fractionneraient le manchon de myéline dans la longueur des segments interannulaires. Ce sont les *incisures de Schmidt* (1874). On peut les considérer comme des lames de protoplasma émanées d'une couche très-mince protoplasmique qui serait comprise entre la gaîne de Schwann et le manchon de myéline, couche plus épaisse vers le milieu du segment pour loger le noyau qui, on se le rappelle, est en effet compris entre la gaîne de Schwann et la myéline. Ces lames viendraient pour la plupart s'insérer obliquement sur une autre couche protoplasmique

excessivement mince qui revêt le cylindre-axe au-dessous de la myéline, et que l'on peut désigner sous le nom de *gaîne de Mauthner*. On comprend que ces lames sectionnent la myéline en cylindres terminés par des extrémités coniques saillantes ou rentrantes (suivant la direction des incisures) et s'emboîtant les uns dans les autres. Ce sont les *cylindres creux* de Kuhnt ou *segments cylindro-coniques* de Ranvier. Il peut y avoir un nombre plus ou moins considérable de segments cylindro-coniques empilés ou emboîtés dans un segment interannulaire.



Fig. 94. — Incisures de Schmidt et segments cylindro-coniques.
A. *i*, incisures; *s*. segments cylindro-coniques. *B*, tube dont la gaîne de Schwann a été enlevée, montrant les incisures élargies et les segments cylindro-coniques gonflés; *i*, incisure incomplète.

Lorsqu'on dissocie directement les faisceaux nerveux dans la solution osmique, on produit avec les aiguilles des déchirures et des tiraillements sur les tubes, ce qui permet quelquefois d'observer avec une très-grande netteté les incisures de Schmidt. Il peut arriver même qu'un tube soit, en un certain point, dépouillé de sa gaîne de Schwann. On voit alors les incisures considérablement élargies, dont quelques-unes ne vont pas jusqu'au cylindre-axe, et les segments cylindro-coniques notablement gonflés par l'acide osmique.

D'après ce que nous venons de dire, on peut donc comparer le segment interannulaire à une énorme cellule, excessivement allongée et recouverte d'une membrane, la gaîne de Schwann. Cette membrane est soudée aux deux extrémités de cette longue cellule à une cellule semblable, et la soudure, démontrée par l'anneau noir qu'y détermine l'imprégnation à l'argent, constitue un étranglement. Toutes les cellules soudées bout à bout sont enfilées, comme les grains d'un chapelet, par le cylindre-axe qui se gonfle en un renflement biconique au niveau de chaque

étranglement, pour se mouler dans la soudure de la gaîne de Schwann qu'il traverse.

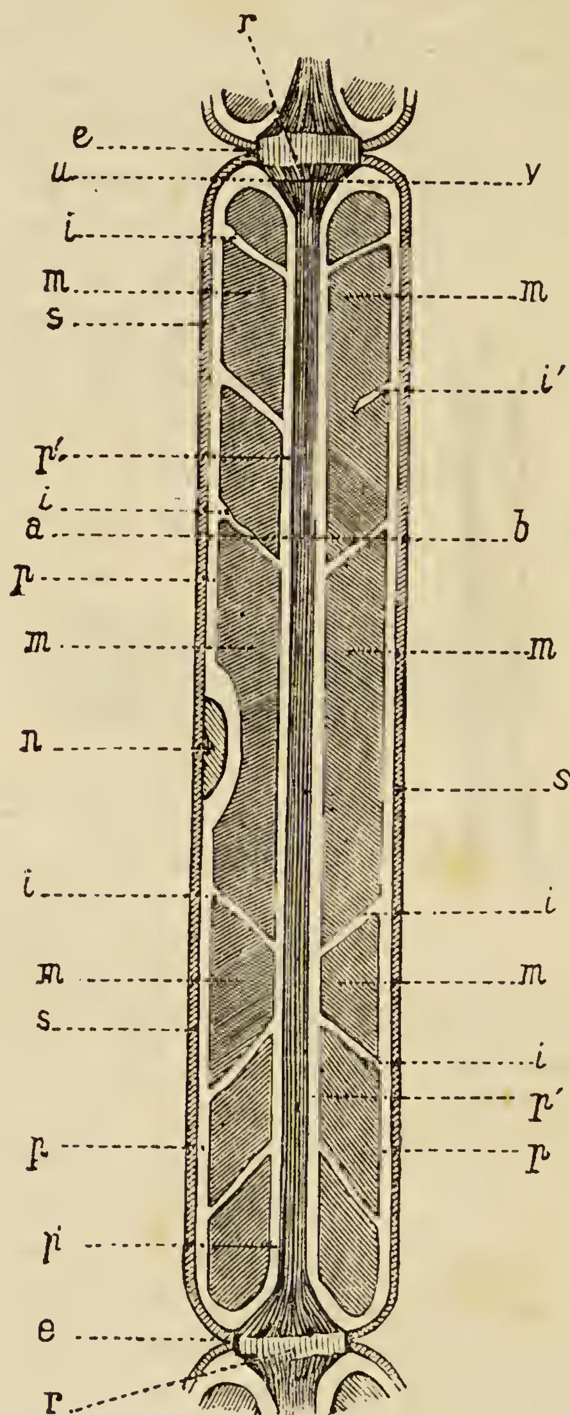


Fig. 95. — Schéma d'un segment interannulaire (coupe longitudinale). *s*. gaîne de Schwann, (membrane de la cellule); *e*, étranglement annulaire (soudure de la membrane d'une cellule à celle de la cellule suivante ; *p*, couche de protoplasma doublant la gaîne de Schwann, contenant le noyau périphérique *n* et se réfléchissant en *e* sur le cylindre axe *c* pour lui former la gaîne de Mauthner p^1; *r*, renflement biconique soudant le cylindre axe à la gaîne des deux cellules adjacentes ; *m*, manchon de myéline découpé en segments cylindro-coniques par les lames protoplasmiques **i** (incisures de Schmidt), qui relient le protoplasma périphérique *p* au protoplasma p^1; i^1, incisure incomplète.

De plus, dans chaque cellule il existe du protoplasma et un noyau. Au sein du protoplasma se forme la myéline, comme la graisse dans le protoplasma d'une cellule adipeuse. La myéline, en se développant, refoule le protoplasma et son noyau contre la gaîne de Schwann, d'une part, et, de l'autre, contre le cylindre-axe à qui il constitue la gaîne de Mauthner. Mais des lames protoplasmiques, diversement inclinées, restent tendues entre le protoplasma refoulé à la périphérie et celui qui est refoulé autour du cylindre-axe, et forment les incisures de Schmidt, lesquelles fragmentent, comme autant de diaphragmes, la myéline en segments cylindro-coniques (Fig. 95).

Ce schéma nous permet de résumer, comme on le voit, d'une manière qui les rend faciles à comprendre, les dispositions que nous avons indiquées sur la structure de la fibre à myéline. Une question se présente à ce sujet, relative au cylindre axe. Nous avons représenté les segments interannulaires comme des cellules bout à bout et nous avons dit que ces cellules étaient toutes enfilées par le cylindre-axe comme les grains d'un chapelet. Mais ce cylindre-axe n'est-il pas, lui aussi, composé de segments soudés bout à bout au niveau des étranglements, et le renflement biconique n'est-il pas la trace même de cette soudure? (Engelmann). Il pourrait, en effet, en être ainsi, mais cette formation paraît peu probable, car, dans ce cas, le renflement biconique devrait présenter sur sa zône médiane, lorsqu'on l'imprègne par le nitrate d'argent, une strie transversale noire représentant la soudure des deux segments. Or, il n'en est rien. Cette partie qui forme le ventre du renflement et qui est élargie, comme nous l'avons dit, pour recevoir la double membrane de Schwann qui s'y insère, ne présente elle-même aucune ligne noire; elle est, au contraire, ménagée en blanc par l'argent et ce n'est qu'au delà et en deçà que l'on voit apparaître les stries de Frommann.

Ce schéma peut servir à expliquer les diverses apparences que l'on observe parfois dans les préparations de tubes nerveux. Ainsi, il arrive que les fibres n'étant pas tendues, les segments interannulaires se trouvent, pour ainsi dire tassés, les uns sur les autres dans le sens de la longueur. Dans ce cas, les

étranglements ne seront plus visibles sous forme d'une constriction à leur niveau; et si l'on a traité le fragment de nerf par le nitrate d'argent, les croix noires produites sur les étranglements ont une branche transversale qui n'atteint pas, de chaque côté, les bords du tube.

Si l'on a établi une compression sur un point du nerf, avant de le faire macérer dans l'acide osmique, la myéline, foulée dans une certaine longueur au-dessous du point comprimé, forcera les premiers étranglements annulaires, mais, de plus, pourra presser sur les lames protoplasmiques qui forment les incisures de Schmidt; un grand nombre d'entre elles, d'obliques qu'elles étaient, deviendront transversales et paraîtront sous forme de fines lignes claires simulant de petits étranglements.

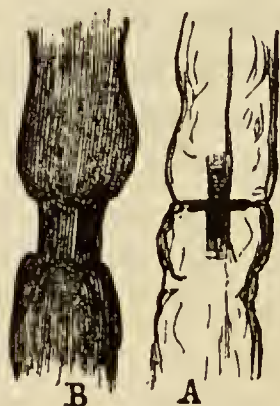


Fig. 96. — *A*. Étranglement annulaire sur un tube non tendu (imprégnation à l'argent).

B. Étranglement incomplet et passage de la myéline d'un segment dans l'autre, (acide osmique après compression.)

On comprend encore, à l'aide de notre schéma, comment la gaîne de Schwann ne se trouvant pas en rapport direct avec le cylindre-axe au niveau des incisures, comme elle y est aux étranglements, les matières colorantes ne peuvent agir en ces points sur le cylindre-axe pour le colorer. Les incisures de Schmidt, comblées par le protoplasma, ne sont pas des voies perméables du tube nerveux, au moins pour les substances cristallisables

Mais ce sont surtout les dispositions présentées par les coupes transversales qui seront très-nettement expliquées. On peut, en effet, après un durcissement de plusieurs mois dans le bichromate d'ammoniaque, opérer des coupes transversales minces d'un nerf que l'on colorera ensuite par le carmin ou le picrocarminate. Sur ces coupes, on verra les faisceaux de tubes nerveux enveloppés par du tissu conjonctif contenant des cellules connectives dont les noyaux seront colorés, tissu conjonctif qui envoie des cloisons plus ou moins complètes entre les fibres

nerveuses, mais nous n'avons pas à insister ici sur cette disposition que nous étudierons plus tard. La coupe de chaque tube nerveux sera à peu près circulaire et, vers son centre, montrera le cylindre axe, coloré en rouge, circulaire ou ovalaire, et séparé du manchon de myéline par une ligne continue incolore. Cette ligne est la coupe de la gaîne périaxile de Mauthner. De plus, on pourra voir que le manchon de myéline, reconnaissable à sa réfringence particulière, présente des zônes concentriques

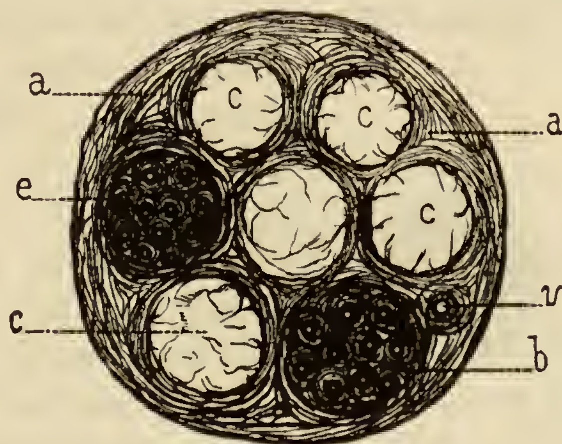


Fig. 97.— Coupe transversale schématique d'un nerf, après durcissement dans l'acide osmique.
a. Tissu conjonctif périfasciculaire ; *b*. tissu conjonctif intrafasciculaire ; *c*, faisceaux nerveux dont les tubes sont tombés ; *e*, tubes nerveux dont la myéline est colorée en noir ; *v*, vaisseau.

plus ou moins nombreuses. Ces zônes ont surtout bien visibles quand on a opéré le durcissement par l'acide osmique (qui colore la myéline en noir), puis par la gomme et l'alcool. On peut ainsi compter les zônes concentriques de myéline, et l'on reconnaît qu'elles sont variables en nombre et en épaisseur. On voit, en effet, que ces zônes correspondent aux segments cylindro-coniques qui ont été tranchés en différents points de leur longueur et de leur chevauchement réciproque, et qui sont séparés par une lame claire, l'incisure de Schmidt. (Voir *fig.* 95, coupe faite suivant une ligne comme *ab*).

On trouvera, au contraire, d'autres tubes qui ne présenteront pas de myéline du tout, mais seront seulement composés du

cylindre axe et d'une zône claire périphérique ; ce sont des fibres qui ont été tranchées au niveau ou très-près d'un étranglement. (Voir *fig.* 95, coupe faite suivant une ligne comme *uv*).

Sur certaines, on observera une encoche claire sur la périphérie de la myéline ; ce sont des tubes qui ont été tranchés à la hauteur du noyau.

Enfin, le manchon de myéline ne sera pas toujours circulaire ; il pourra être plus ou moins déformé et même festonné sur les bords. Ces festons représentent la coupe des plis que forme souvent la gaîne de Schwann un peu au-dessus ou au-dessous des étranglements annulaires.

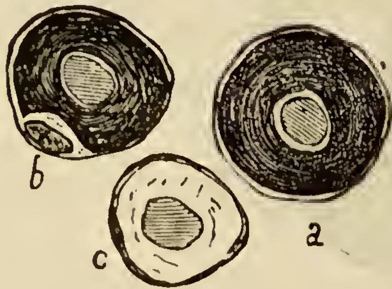


Fig. 98. — Coupes transversales des tubes nerveux.
a. Tube présentant la gaîne de Mauthner et des zônes concentriques de la myéline.
b. Coupe faite au niveau du noyau.
c. Coupe près d'un étranglement.

Ainsi, nous pouvons considérer le segment interannulaire du tube nerveux à myéline comme une individualité histologique possédant une certaine quantité de protoplasma et, à l'état normal, un seul noyau. La myéline paraît s'y former comme la matière grasse dans la cellule adipeuse, cellule avec laquelle le segment interannulaire présente une certaine analogie de constitution (Ranvier).

La myéline, qui paraît jouer par rapport à l'élément nerveux, par excellence, le cylindre-axe, un rôle de protection et d'isolement, se trouve donc segmentée dans la longueur du tube par les étranglements et même cloisonnée dans la longueur du segment par les incisures de Schmidt.

Cette disposition était, du reste, nécessaire, d'abord pour maintenir la myéline, qui est liquide, dans sa continuité autour du cylindre axe, et ensuite pour permettre la nutrition de cet élément, nutrition qui ne paraît pouvoir se faire qu'au niveau des étranglements, seuls points où les fibres nerveuses soient perméables aux liquides.

Cette segmentation des tubes nerveux à myéline est une disposition anatomique réelle et ne résulte pas, comme on l'a prétendu, de l'action des réactifs employés pour fixer les nerfs dans leur forme, car, non-seulement, on la constate (surtout quand on la connaît déjà) sur des nerfs frais examinés sans réactifs, mais encore, et plus facilement même, sur les animaux vivants. C'est ainsi que Ranvier a pu reconnaître les étranglements annulaires et les incisures de Schmidt sur les petits nerfs du poumon de la grenouille curarisée pour l'immobiliser, insufflée par la glotte pour tendre le poumon, et fixée dans l'appareil de Holmgren.

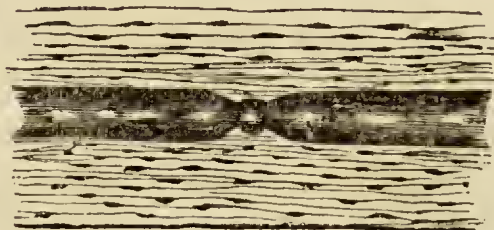


Fig. 99. — Étranglement annulaire d'un tube nerveux de la Torpille. (Le tube est contenu dans une épaisse enveloppe conjonctive.)

D'ailleurs, ces étranglements n'ont pas la même forme chez tous les animaux. Chez les poissons Plagiostomes, les torpilles, par exemple, ils présentent une dilatation dans laquelle est logée le renflement biconique (*fig*. 99.)

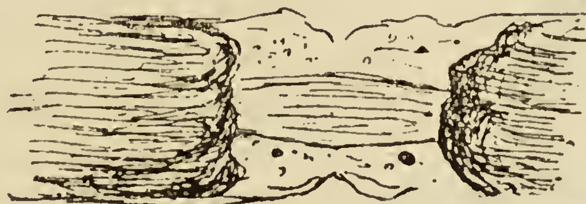


Fig. 100. — Striation longitudinale du cylindre-axe après l'irrigation du nerf.

Pour compléter ces notions, nous devons ajouter que l'on considère généralement le cylindre axe comme constitué par un faisceau de fibrilles (Max Schultze). Cette disposition se manifeste

quelquefois très-nettement sous l'influence de certains réactifs, sérum iodé, bichromate d'ammoniaque à 1 pour 100, acide osmique à 1 1/2 p. 100, par une fine striation longitudinale; mais on peut la mettre en évidence en irriguant le nerf dénudé chez un animal vivant, pendant un quart d'heure, avec un courant d'eau pure ou salée (à 5 p. 1000) à la température de l'animal (36° environ), ainsi que l'a fait Ranvier sur le nerf sciatique du lapin. Un fragment de ce nerf détaché montre que l'eau a pénétré par les étranglements, refoulé la myéline et rendu visible le cylindre-axe qui est gonflé et fortement strié longitudinalement. De plus, quand on sectionne un nerf sur un animal vivant, dans le processus de régénération qui se produit aussitôt dans le bout central, on voit le cylindre-axe, hypertrophié au niveau de la section, se diviser complétement en ses fibrilles constitutives pour donner naissance aux cylindres-axes des nouvelles fibres nerveuses.



Fig. 101. — Division d'un tube nerveux et du cylindre axe (nerf électrique de la Torpille.)

Enfin, sur certains animaux, les Plagiostomes, la torpille, par exemple, la fibrillation du cylindre-axe est tellement marquée que, sur des coupes transversales de nerfs, on distingue la coupe de ces fibrilles sous forme d'autant de points, ou même de petits cercles, dans la section du cylindre axe.

Chez ces mêmes poissons, on observe, dans les cloisons de l'appareil électrique dont ils sont pourvus, des points où un tube nerveux s'épanouit en un bouquet de branches filles dont les cylindres-axes résultent de la fibrillation du cylindre axe de la branche-mère.